40278

Digitized by the Internet Archive
in 2018 with funding from
Wellcome Library

https://archive.org/details/b29333805_0002

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE PHYSIQUE
GÉNÉRALE ET MÉDICALE,

PAR P. PELLETAN,

Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, Chevalier de l'Ordre royal de la Légion-d'Honneur, Membre de plusieurs Sociétés savantes, françaises et étrangères.

DEUXIÈME ÉDITION,

REVUE, CORRIGÉE ET AUGMENTÉE.

Avec des Planches en taille-douce.

TOME SECOND.

PARIS,
LIBRAIRIE MÉDICALE DE GABON,
Rue de l'Ecole-de-Médecine, n° 10;
MONTPELLIER, MÊME MAISON.
1831.

des plus grands avantages qu'elles s'est promis des assemblées provinciales : quoiqu'elles ne prissent pas, comme les Etats provinciaux, députer aux Etats-Généraux, elles offrent cependant à Sa Majesté un moyen facile de communiquer avec ses peuples, et de connaître leur vœu sur ce qui les intéresse.

Le Roi espère ainsi procurer à la nation la tenue d'Etats la plus régulière et la plus convenable; prévenir les contestations qui pourraient en prolonger inutilement la durée, établir, dans la composition de chacun des trois ordres, la proportion et l'harmonie qu'il est si nécessaire d'y entretenir; assurer à cette assemblée la confiance des peuples, d'après le vœu desquels elle aura été formée; enfin, la rendre ce qu'elle doit être, l'assemblée d'une grande famille, ayant pour chef le père commun. A quoi voulant pourvoir; ouï le rapport, le Roi étant en son conseil, a ordonné, et ordonne ce qui suit :

Art. 1er. Tous les officiers municipaux des villes et communautés du royaume, dans lesquelles il peut s'être fait quelques élections aux Etats-Généraux, seront tenus de rechercher incessamment dans les greffes desdites villes et communautés, tous les procès-verbaux et pièces concernant la convocation des Etats, et les élections faites en conséquence, et d'envoyer sans délai lesdits procès-verbaux et pièces, savoir : aux syndics des Etats provinciaux et assemblées provinciales, dans les provinces où il n'y a pas d'assemblée subordonnée auxdits Etats provinciaux ou aux assemblées provinciales; et dans celles où il y a des assemblées subordonnées, aux syndics desdites assemblées subordonnées, ou à leurs commissions intermédiaires.

2. Seront tenus, les officiers des juridictions, de faire la même recherche dans les greffes de leur juridiction, et d'en envoyer le résultat à M. le garde-des-sceaux, que Sa Majesté a chargé de communiquer ledit résultat auxdits syndics et commissions intermédiaires.

3. Sa Majesté invite, dans chacune des provinces de son royaume, tous ceux qui auront connaissance desdits procès-verbaux, pièces ou renseignemens relatifs à ladite convocation, à les envoyer pareillement auxdits syndics.

4. L'intention de Sa Majesté est que, de leur côté, lesdits syndics et commissions intermédiaires fassent, à ce sujet, les recherches nécessaires; et seront, lesdites recherches, mises sous les yeux desdits Etats et assemblées, pour être, par elles, formé un vœu commun, et être adressé un mémoire sur les objets contenus auxdites recherches, lequel sera envoyé par lesdits syndics, à M. le garde-des-sceaux.

5. Dans les provinces où il y a des assemblées subordonnées, le vœu desdites assemblées sera remis, avec toutes les pièces qui y seront jointes, à l'assemblée supérieure, qui remettra pareillement son vœu, et l'enverra, comme il est dit, à M. le garde-des-sceaux, avec le vœu, les mémoires et les pièces qui lui auront été remises par les assemblées subordonnées.

6. Au cas où toutes lesdites recherches ne seraient pas parvenues auxdits syndics avant la tenue prochaine des Etats et assemblées, Sa Majesté, voulant que les résultats qu'elle demande lui parviennent au plus tard dans les deux premiers mois de l'année prochaine, entend, qu'à raison du défaut desdites pièces et renseignemens, lesdites assemblées, tant subordonnées que supérieures, ne puissent se dispenser de former un vœu, et de dresser un mémoire sur les objets relatifs au présent arrêt, sauf aux syndics et commissions intermédiaires à envoyer, après la séparation desdites assemblées, les pièces nouvelles et intéressantes qui pourraient leur parvenir.

7. Si dans quelques-unes desdites assemblées il y avait diversité d'avis, l'intention de Sa Majesté est que les avis différens soient énoncés avec les raisons sur lesquelles chacun pourrait être appuyé; autorise même, Sa Majesté, tout député desdites assemblées à joindre au mémoire général de l'assemblée tous mémoires particuliers en faveur de l'avis qu'il aura adopté.

8. Sa Majesté invite, en même temps, tous les savans et personnes instruites de son royaume, et particulièrement ceux qui composent l'Académie des inscriptions et belles-lettres de sa bonne ville de Paris, à adresser à M. le garde-des-sceaux tous les renseignemens et mémoires sur les objets contenus au présent arrêt.

9. Aussitôt que lesdits mémoires, renseignemens et éclaircissemens seront parvenus à M. le garde-des-sceaux, Sa Majesté s'en fera rendre compte, et se mettra à portée de déterminer, d'une manière précise, ce qui doit être observé pour la prochaine convocation des Etats-Généraux, et pour rendre leur assemblée aussi nationale et aussi régulière qu'elle doit l'être.

Fait au Conseil-d'Etat du Roi, Sa Majesté y étant, tenu à Versailles, le 5 juillet 1788.

Signé le baron DE BRETEUIL.

---

8 AOUT 1788. — Arrêt du Conseil-d'Etat du Roi qui fixe au 1er mai prochain la tenue des Etats-Généraux, et suspend jusqu'à cette époque le rétablissement de la cour plénière. (L. 1, 6.)

---

23 SEPTEMBRE 1788. — Déclaration du Roi qui ordonne que l'assemblée des Etats-Généraux aura lieu dans le courant de janvier 1789. (L. 1, 9.)

TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

DE PHYSIQUE

GÉNÉRALE ET MÉDICALE.

PARIS, IMPRIMERIE DE COSSON,
RUE SAINT-GERMAIN-DES-PRÉS, N. 9.

530

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE PHYSIQUE
GÉNÉRALE ET MÉDICALE,

PAR P. PELLETAN,

Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, Chevalier de l'Ordre royal de la Légion-d'Honneur, Membre de plusieurs Sociétés savantes, françaises et étrangères.

DEUXIÈME ÉDITION,

REVUE, CORRIGÉE ET AUGMENTÉE.

Avec des Planches en Taille-douce.

TOME SECOND.

PARIS,
LIBRAIRIE MÉDICALE DE GABON,
Rue de l'École-de-Médecine, n° 10;
MONTPELLIER, MÊME MAISON.

1831.

L-SLIP
329 21E
2 Vols

TABLE

DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE SECOND VOLUME.

LIVRE CINQUIÈME.

Du Calorique.

CHAPITRE PREMIER.

Du Calorique en général.

Nos. Pages.

259. Définition du Calorique. 1

CHAPITRE II.

Du Calorique libre ou rayonnant.

260. Preuves du Rayonnement du Calorique. 6

261. Lois du Rayonnement. 8

262. Marche du Calorique dans l'Espace. 11

263. Lois de l'Absorption du Calorique. 15

CHAPITRE III.

De l'action du Calorique sur les corps sans Changement d'état.

264. Deux sortes d'action.—Conduction.—Changement de volume. 17

265. De la Conductibilité. 18
266. Changement de volume des corps par le Calor que. . . . 25
267. Changement de volume des Gaz. 26
268. Changement de volume des Liquides. 28
269. Changement de volume des Solides. 35

CHAPITRE IV.

Du Changement d'état des corps par le Calorique.

270. Des différens Changemens d'état des corps. 40
271. De la Fusion ou Liquéfaction des Solides. 41
272. De la Solidification des Liquides. 46
273. De la Conversion des Liquides en Vapeurs. 49
274. De l'Ebullition. 50
275. De l'Evaporation spontanée. 55
276. Conversion des Vapeurs en Liquides. . . . . *id.*
277. Des Vapeurs. 57
278. Des Vapeurs dans le vide. . . . . *id.*
279. De la Tension des Vapeurs. 59
280. Poids spécifique des Vapeurs. 73
281. De l'Effet des hautes Pressions sur les Vapeurs. 75
282. Applications de la force de la Vapeur aux Effets mécaniques. 76
283. Mélanges des Vapeurs avec les Gaz. 80
284. Application météorologiques. 85
285. De l'Hygrométrie. 86
286. Des Brouillards. 90
287. Des Nuages. 91
288. De la Rosée. 92
289. Pluie, Neige, Grêle. 93

CHAPITRE V.

Du la Mesure du Calorique.

290. De la mesure du Calorique en général. 94
291. Mesure de la Température. 95

292. Du Thermomètre. 95
293. Thermomètre différentiel. 99
294. Des Pyromètres. 101
295. Des Indications thermométriques. 103
296. Mesure du Calorique spécifique. 104
297. De la Mesure de la quantité absolue du Calorique. . . . 115

CHAPITRE VI.

De l'Equilibre du Calorique entre les Corps.

298. Influence de l'Air et du Rayonnement. 117
299. Du Froid. 120

CHAPITRE VII.

Des Sources du Calorique.

300. Soleil. — Combustion. — Combinaisons chimiques. — Percussion. — Frottement. — Phénomènes électriques. . . 121
301. De la Production du Calorique par les Combustibles. . . . 127
302. Des Combustibles. 129
303. Des Appareils de Combustion. 146
304. Chauffage des habitations. 147

CHAPITRE VIII.

Des Rapports du Calorique avec les êtres vivans, et de la Chaleur animale.

305. Effets du Calorique sur les êtres vivans. 156
306. De la Chaleur animale. 160
307. Sources de la Chaleur animale. 161
308. Causes de Refroidissement. 167
309. De la Température fixe dans les animaux. 171

LIVRE SIXIÈME.

De l'Électricité.

310. Considérations générales. 178

CHAPITRE PREMIER.

De l'Electricité proprement dite.

311. De l'Electricité par Frottement. 180
312. Des deux Fluides électriques. 182
313. Lois des Attractions et Répulsions électriques. 183
314. Corps conducteurs et non-conducteurs. 185
315. Charge électrique d'un conducteur. 187
316. Des Pointes. 190
317. Charge électrique d'un corps non-conducteur. 192
318. Influences électriques à distance. 193
319. Théorie des Attractions et Répulsions électriques. . . . 197
320. Electromètres et Electroscopes. 200
321. Répartition de l'Electricité entre différens corps. 203
322. Du Condensateur. 206
323. Du Carreau électrique. 211
324. De la Bouteille de Leyde. . . . . *id.*
325. Des Batteries électriques. 213
326. De l'Electrophore. 214
327. Moyens de produire l'Electricité. 215
328. De l'Isolement. 219
329. Des Machines électriques. 221
330. Des Effets de l'Electricité sur les corps bruts. 223
331. Des Effets de l'Electricité sur l'économie animale. . . . 231
332. De l'Electricité atmosphérique. 234
333. De l'Electricité des nuages. 236
334. Des Paratonnerres. 241
335. Rapport de l'Electricité avec la pluie et la grêle. 245

CHAPITRE II.

Electricité galvanique.

336. Définition. — Histoire. 246
337. Phénomènes fondamentaux du Galvanisme. 252
338. De la Force Electro-Motrice. 256
339. Des Effets caractéristiques de l'électricité galvanique. . . 259
340. De la Pile Voltaïque. 263
341. Piles en hélice. 271
342. Des Piles sèches. 273
343. Du Diagomètre. 277
344. Observations sur la théorie de la Pile. 279
345. Action de la Pile sur les corps inorganiques. 283
346. Action chimique de la Pile. 287
347. Mouvemens déterminés par l'action de la Pile. 293
348. Caractères électriques des Atomes. 295
349. Rapports du Galvanisme avec les êtres vivans. 297

CHAPITRE III.

Du Magnétisme.

350. Magnétisme en général. 301
351. Des Aimans naturels. . . . . *id.*
352. Des Aimans artificiels. 302
353. Du Magnétisme terrestre. 306

CHAPITRE IV.

Des Phénomènes électro-dynamiques.

354. Définition. — Principe général 308
355. Influence de la Terre sur les Conducteurs mobiles. . . . 314
356. Des Phénomènes magnétiques. 316
357. Des Contractions musculaires. 318
358. Des Poissons électriques. . . . . *id.*

LIVRE SEPTIÈME.

De la Lumière.

CHAPITRE PREMIER.

De la Lumière en général.

359. Deux Systèmes.—Division. 320
360. Du Rayonnement. 322
361. De la Direction. 323
362. De la Vitesse. 325
363. De l'Intensité de la Lumière 326
364. Des Sources de la Lumière. 327
365. De l'Ombre. 328

CHAPITRE II.

De la Lumière réfléchie ou Catoptrique.

366. Corps opaques. 332
367. Miroirs concaves. — Images. 337
368. Miroirs convexes. — Images. 340
369. Miroirs composés. 341
370. Réflexion à la surface des corps non polis. 342

CHAPITRE III.

De la Lumière réfractée ou Dioptrique.

371. Des Milieux. 344
372. Lois de la Réfraction. 345
373. Réflexions dans les corps transparens. 348
374. Explication de la Réfraction. 349
375. Phénomènes produits par la Refraction. 350

376. Des Effets du Prisme. 353
377. Des Verres convexes ou Lentilles. 354
378. Des Verres concaves. 356

CHAPITRE IV.

Décomposition de la Lumière.

379. Spectre solaire. — Aberration de réfrangibilité, — de sphéricité. 357
380. De l'Achromatisme. 360
381. Réfraction des Lames minces. 361
381 *bis*. De l'Arc-en-Ciel. 362
382. Opacité et Transparence. 363
383. Couleur des Corps. 364

CHAPITRE V.

De l'OEil et de la Vision.

384. De l'Organe de la Vue. 366
385. Structure de l'OEil. 367
386. De la Vision. 370
387. Angle visuel. 375
388. Imperfection de la Vision. 377

CHAPITRE VI.

De quelques Instrumens d'Optique.

389. Microscope simple. 380
390. Lunette de spectacle. 381
391. Lunette astronomique. . . . . *id.*
392. Lunettes composées. 382
393. Microscopes composés. 383
394. Télescopes catoptriques. 384
395. Microscope solaire. . . . . *id.*
396. Chambre noire. 385

CHAPITRE VII.

De quelques Phénomènes accidentels à la Lumière.

397. De la Double Réfraction. 386
398. Polarisation fixe de la Lumière. 388
399. Polarisation mobile. 389

Additions à l'article Vapeur. 392
Additions au livre de la Lumière. 412
Dissertation par les généralités de la Physique médicale. . 439

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE PHYSIQUE
GÉNÉRALE ET MÉDICALE.

LIVRE CINQUIÈME.

DU CALORIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

DU CALORIQUE EN GÉNÉRAL.

259. Il est facile de remarquer dans la nature un très-grand nombre de phénomènes qui ne peuvent s'expliquer ni se concevoir par aucune des causes ou des modes d'action que nous avons successivement examinés dans les quatre livres qui précèdent. Et pour en citer quelques exemples parmi les plus vulgaires, un corps produit sur nos organes les impressions du froid ou du chaud ; un solide se dilate, s'allonge, devient lumineux; une masse d'eau liquide passe peu-à-peu à l'état solide, ou, par un effet contraire, entre en ébullition et se réduit en vapeur, sans qu'on puisse attribuer aucun de ces phénomènes aux propriétés générales ou particulières de la matière, à la puissance de l'attraction, aux forces qui se développent dans

les êtres vivans, etc. De tout temps on a supposé à ces phénomènes une cause première qu'on a nommée *matière du feu, matière de la chaleur, principe igné*, etc., et que les chimistes nomenclateurs ont désignée par le mot *calorique*, qui, dans le sens qu'ils lui ont donné, signifie proprement *cause de la chaleur*.

Le calorique, ou la cause de la chaleur, n'ayant jamais pu être pesé, renfermé, ni être mesuré sous le rapport quantitatif absolu, il ne faut pas le considérer comme un être matériel dont l'existence soit absolument démontrée, mais comme une heureuse supposition, à l'aide de laquelle on se rend compte de presque tous les phénomènes observés, et on les enchaîne les uns aux autres avec un ordre et une méthode qui en facilitent beaucoup l'étude.

En admettant l'existence du calorique, il devient nécessaire de lui attribuer un certain nombre de propriétés essentielles sans lesquelles il ne saurait produire aucun des effets que l'on explique par sa présence.

Le calorique est un corps, du moins il faut le supposer pour avoir le droit de dire qu'il s'accumule, se combine, se sépare, etc. Il y a même quelques faits qui semblent prouver cette existence matérielle : lorsqu'un rayon lumineux entre dans une chambre obscure par une ouverture étroite, il rend tout-à-coup visible une partie circonscrite de la paroi opposée à l'ouverture; mais en même temps qu'il éclaire cette étendue, il l'échauffe; si ce rayon est détourné de sa direction par un prisme, la lumière et la chaleur iront se produire dans un lieu différent. Ce phénomène sera dû à ce qu'on nomme réfraction dans le prisme; et cette réfraction ne peut s'entendre qu'en admettant que les rayons lumineux ou calorifiques obéissent à l'attraction du prisme. Il en résulte donc que la cause de la chaleur obéit à l'attraction comme les autres corps, et doit être considérée comme matérielle.

Si nous admettons que le calorique soit un corps, il faudra chercher à le comparer à tous ceux que nous connaissons; et comme il est impossible de voir la moindre analogie entre le calorique et les corps solides, on l'a comparé aux fluides; et attendu qu'on n'a pas encore pu le peser ni le renfermer, on l'a nommé *fluide impondérable* et *incoërcible*. On suppose donc que le calorique est formé de particules parfaitement libres de se mouvoir les unes sur les autres. Il faut aussi admettre que ces molécules sont infiniment petites, puisqu'elles pénètrent tous les corps, même ceux que la lumière ne peut pas traverser.

En quelque quantité qu'on accumule le calorique dans un espace ou dans un corps, son poids ne devient jamais appréciable à nos balances les plus délicates, ce qui a fait dire qu'il est *impondérable*. Beaucoup de recherches sur cette question ont d'abord fourni des résultats contradictoires : les unes semblaient prouver que le calorique avait un poids appréciable, et les autres qu'il était essentiellement *léger*, ou qu'il diminuait le poids des autres corps. Ces erreurs étaient dues à des inexactitudes dans les expériences. Il est facile d'en faire une démonstrative. Si l'on fait communiquer deux cornues de verre, et qu'on les scelle ermétiquement après avoir mis dans l'une de l'eau pure, et dans l'autre de l'acide sulfurique concentré, on pourra peser le tout avec une grande exactitude. Si l'on renverse ensuite peu-à-peu l'appareil, et que l'on mêle ainsi les deux liquides, il se produira une très-grande quantité de chaleur, qui se transmettra peu-à-peu à tous les corps environnans, jusqu'à ce que l'appareil soit revenu à sa température primitive. On voit que ce système de corps aura perdu pendant ce temps une grande quantité du calorique qu'il contenait; et cependant, si on le pèse de nouveau, on lui retrouvera très-exactement le même poids qu'avant cette perte : d'où il faut conclure, non pas abso-

lument que le calorique ne pèse pas, mais que son poids, s'il existe, est inappréciable à nos balances.

Les molécules qui composent le calorique doivent se repousser réciproquement, car il tend sans cesse à s'échapper des corps qui le contiennent. On a donné à cette propriété le nom d'élasticité; il vaut mieux lui conserver le nom naturel de *répulsion*. Pour se rendre compte des différens états que peuvent prendre les corps, sous l'influence du calorique, on est forcé d'admettre que la répulsion de ses molécules s'exerce précisément suivant la même loi que l'attraction dans les autres corps, c'est à-dire qu'elle croît comme le carré des rapprochemens.

Le calorique a la propriété de se mouvoir en ligne droite dans les espaces vides, dans les fluides élastiques, et peut-être même dans l'intérieur des autres corps, à la manière de la lumière, phénomène auquel on donne le nom de *rayonnement*.

Le calorique a une tendance générale à se mettre en équilibre ou à se répandre uniformément entre les différens corps et les différens espaces, ce qui paraît une conséquence naturelle de la répulsion de ses molécules. Cette tendance est souvent combattue et modifiée par l'attraction ou l'affinité que les autres corps exercent sur lui.

Le calorique paraît, en effet, doué d'attractions puissantes et variables pour les différens corps de la nature qui s'emparent de lui et le retiennent avec plus ou moins d'énergie. On ne pourrait, sans admettre cette réciprocité d'attraction, comprendre les différens états des corps ni les variations de volume qu'ils éprouvent quand on leur ajoute ou qu'on leur ôte du calorique; car il faut admettre que ces états et ces variations dépendent de ce que les molécules des corps sont sollicitées à-la-fois par leur attraction réciproque et par la force de répulsion du calorique, ce qui suppose que les particules des corps et celles du calorique sont, pour le

moment, réunies par une puissance quelconque; dans le cas contraire, les molécules des corps se rapprocheraient, et celles du calorique s'écarteraient pour obéir chacune à la puissance qui les anime.

Les conditions d'affinité du calorique pour les corps sont extrêmement difficiles à apprécier; elles paraissent différentes pour les différens corps; elles semblent soumises à l'influence des masses, comme les autres affinités chimiques; enfin, on a été conduit à admettre que le calorique pouvait être seulement interposé entre les molécules des corps, en conservant la liberté de s'y mouvoir, d'en sortir et d'agir à l'extérieur; ce qui lui a fait donner, dans cet état, les noms de *calorique libre* ou *calorique de température;* tandis que, dans d'autres circonstances, on pouvait le considérer comme véritablement combiné avec les corps, ne pouvant plus ni s'y mouvoir, ni en sortir, ni produire d'effets extérieurs; auquel cas on lui a donné les noms de *calorique latent* ou *calorique combiné.* Nous devons cependant ajouter que cette supposition de l'existence du calorique dans deux états différens au sein d'un même corps, n'est pas absolument indispensable à l'intelligence des phénomènes, qui peuvent se comprendre par la considération de ce que nous connaîtrons sous le nom de *capacité calorique* des corps.

En reconnaissant ou en attribuant à la cause de la chaleur l'existence et les propriétés dont nous venons de parler, il faut encore se représenter que ce fluide impondérable habite en quelque sorte et pénètre tous les corps de la nature sans exception; qu'il n'y a pas de corps si froid qui n'en contienne une quantité quelconque, et que le vide lui-même en est incessamment traversé comme par la lumière.

CHAPITRE II.

DU CALORIQUE LIBRE OU RAYONNANT.

260. Il est démontré que le calorique s'échappe de la surface de tous les corps et s'en éloigne avec rapidité en formant des *rayons* à la manière de la lumière. Un grand nombre de faits prouvent cette vérité : les uns sont vulgaires, les autres constituent des expériences qui ont été souvent répétées. Parmi les faits vulgaires, on peut remarquer qu'en présentant la main à une certaine distance d'un foyer de combustion ou d'un corps chaud, nous en éprouvons, sans aucun contact, une sensation de chaleur très-marquée. On pourrait croire que cette sensation est produite par le contact des couches d'air successivement échauffées qui se porteraient du corps chaud vers la main; mais il est facile de s'assurer que l'air n'est pour rien dans le phénomène, puisqu'on éprouve une vive sensation de chaleur en plaçant la main au-devant de la petite ouverture de la porte d'un poële, dans laquelle un courant d'air extérieur se précipite continuellement dans le sens contraire à la direction que doit suivre le calorique pour arriver jusqu'à la main. On peut remarquer aussi que cette sensation de chaleur se fait sentir au-dessous d'un corps chaud, quoique l'air qui l'environne s'élève sans cesse autour de lui à mesure qu'il s'échauffe.

Parmi les démonstrations du rayonnement du calorique, qui résultent d'expériences directes, on peut citer la suivante : Si l'on place (*fig.* 116) vis-à-vis l'un de l'autre deux miroirs concaves dont les coupes soient bien paral-

lèles; qu'au foyer de l'un de ces miroirs on place une masse de charbon allumé, et au foyer de l'autre un corps facilement inflammable, comme de l'amadou, en animant par un soufflet la combustion du charbon on verra bientôt l'amadou s'enflammer, quoiqu'il soit placé à plusieurs pieds du foyer de combustion et qu'on l'ait même préservé par un petit écran de la chaleur transmise directement. Pour expliquer ce phénomène, il faut nécessairement admettre que le calorique s'échappe en rayonnant du foyer de combustion; que ses rayons, tombant sur le premier miroir de cuivre poli, en aient été réfléchis en devenant parallèles; que ces rayons, déjà réfléchis, rencontrant le second miroir, s'y réfléchissent de nouveau pour se rassembler au foyer et y produire la température élevée qui embrase l'amadou. D'où il faut conclure que le calorique rayonne et se réfléchit absolument suivant les mêmes lois que la lumière, puisqu'un corps lumineux placé à l'un des foyers produirait une lumière vive à l'autre foyer.

L'expérience que nous venons de rapporter peut laisser quelques doutes sur la réalité du rayonnement du calorique, attendu que le corps en combustion dégage en même temps de la lumière. Mais on peut la répéter en substituant au foyer de combustion un ballon de verre rempli d'eau bouillante; et si l'on n'observe pas à l'autre foyer une température capable d'enflammer les corps, il s'y développe cependant une assez grande quantité de chaleur pour faire monter considérablement un thermomètre placé à ce foyer. On emploie spécialement, dans ces expériences, un instrument particulier nommé *thermomètre différentiel*, dont nous donnerons la description en parlant de la mesure du calorique, et qui a pour effet d'apprécier les plus légères différences de température entre deux points de l'espace.

Après avoir ainsi démontré que le calorique est susceptible de s'échapper en rayonnant de la surface des corps,

de traverser l'espace et d'être réfléchi par les surfaces, le tout suivant les mêmes lois que la lumière, nous avons à examiner, 1° les lois suivant lesquelles le calorique s'échappe de la surface des corps; 2°. les circonstances de son rayonnement à travers l'espace; 3°. la manière dont il se comporte en arrivant à la surface des corps qu'il rencontre sur son passage.

261. *Lois du rayonnement.* Il paraît démontré que tous les corps, sans exception, les plus chauds comme les plus froids, lancent continuellement, par toute leur surface extérieure, des particules de calorique en telle quantité, que chacun des points de cette surface en projette à-la-fois dans toutes les directions, ce qui constitue le rayonnement, comme on le conçoit pour la lumière dans le système de l'émission. Mais la quantité de calorique qui peut s'échapper ainsi de la surface d'un corps est modifiée par un grand nombre de circonstances que nous énumérerons bientôt.

Pour bien entendre et pour vérifier les lois que nous devons indiquer, il faut d'abord décrire l'appareil dont on a fait usage pour les découvrir. On s'est servi (*fig.* 117) d'un miroir parabolique, c'est-à-dire, dont la courbure particulière jouit de la propriété de rassembler en un seul point tous les rayons parallèles qui peuvent tomber à sa surface. On a placé, à une assez grande distance de ce miroir, un vase cubique en métal, que l'on peut remplir d'eau à diverses températures, dont les quatre faces latérales peuvent être formées de différentes substances ou couvertes de différens enduits, ces faces pouvant, du reste, se tourner du côté du miroir, soit directement, soit sous toutes sortes d'angles. Enfin, on a placé au foyer du miroir parabolique un thermomètre très-sensible, qui indique, par les différens degrés dont il s'élève, la quantité de calorique réfléchie par le miroir, qui doit être proportionnelle

à celle qui tombe à sa surface, et par conséquent à celle qui s'échappe du corps chaud. D'après cette description, on concevra aisément le mode des différentes expériences, sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans le détail de chacune.

a. Le calorique rayonne de la surface d'un corps en raison directe de sa température; c'est-à-dire, qu'une surface à 20° degrés de température rayonne deux fois plus de calorique qu'une surface à 10° de température.

b. La quantité de calorique rayonnant qui s'échappe d'un corps est en raison directe de l'étendue de sa surface.

c. Pour la même surface la quantité du calorique rayonné dans une direction quelconque est en raison directe du sinus de l'angle que cette direction forme avec la surface; en sorte que le rayonnement est à son *maximum* perpendiculairement à la surface.

d. La nature de la masse du corps n'influe en rien sur le rayonnement qui se fait à sa surface, en ne considérant que la température de cette surface. Ainsi, un vase d'étain plein d'eau, ou un cube solide d'étain, rayonnent exactement les mêmes quantités de calorique aux mêmes températures. La nature intime du corps n'a d'influence sur le rayonnement qu'autant qu'elle retarde ou facilite la transmission du calorique à travers la masse du corps du centre vers la surface, ce qui dépend de la *propriété conductrice*.

e. La nature de la surface rayonnante influe considérablement sur le rayonnement du calorique, toutes choses étant d'ailleurs égales. Une surface couverte de noir de fumée rayonne la plus grande quantité possible de calorique, et à-peu-près huit fois plus que la surface blanche et polie. La table suivante indique, par des nombres, les rapports des pouvoirs rayonnans d'un assez grand nombre de substances.

POUVOIR RAYONNANT.

Noir de fumée.	100
Eau.	100
Papier à écrire.	98
Crown glass.	90
Encre de Chine.	88
Eau glacée.	85
Mercure.	20
Plomb brillant.	19
Fer poli.	15
Étain, argent, cuivre, or.	12

Il est remarquable que la même substance peut rayonner des quantités fort différentes de calorique, suivant qu'elle est parfaitement polie ou plus ou moins dépolie. En faisant des raies parallèles sur une surface métallique, on augmente son pouvoir rayonnant; en faisant d'autres raies qui croisent les premières, on augmente encore ce pouvoir.

On a fait des recherches curieuses sur les modifications du rayonnement, que l'on peut produire en appliquant des enduits divers, en couches plus ou moins nombreuses, à la surface d'un corps poli. On remarque, en général, qu'une seule couche d'enduit de colle d'amidon, par exemple, étendue avec un pinceau, augmente beaucoup le pouvoir rayonnant d'une surface métallique; que ce pouvoir rayonnant s'accroît encore par l'addition de deux, de trois, de quatre, etc., couches du même enduit; qu'il arrive un point où les couches ajoutées semblent diminuer le pouvoir rayonnant, ce qui dépend de ce que la matière de l'enduit est ordinairement un mauvais conducteur,

et s'oppose à la transmission du calorique du corps, de son centre à sa surface.

Quand on considère l'influence des enduits, on ne peut pas douter que le rayonnement du calorique n'ait lieu non seulement par la surface la plus extérieure du corps, mais encore d'une certaine profondeur, très-petite, il est vrai, mais pourtant sensible et appréciable par des moyens dont nous parlerons plus tard.

La découverte de l'existence du rayonnement, sur laquelle Herschel a porté le premier l'attention des savans, a modifié considérablement la théorie générale du calorique; et, comme il arrive trop souvent dans les sciences, elle a montré que des notions de l'expérience vulgaire, qui étaient regardées par les savans comme des préjugés indignes de leur attention, étaient pourtant l'expression de la vérité. Les gens du monde disaient autrefois que les vases d'argent conservaient les mets servis sur nos tables plus long-temps chauds que les vases de terre couverts d'un enduit brun : les savans se moquaient de ce préjugé, sur le principe que l'argent est un bon conducteur du calorique, tandis que la faïence le conduit très-mal. On sait maintenant que l'argent poli rayonne huit fois moins de calorique qu'une surface noire, et que le prétendu préjugé était le résultat d'une observation exacte.

262. *Marche du calorique dans l'espace.* — Lorsque le calorique rayonnant s'est échappé de la surface d'un corps avec les circonstances et suivant les lois que nous venons d'indiquer, il s'y meut en ligne droite, à la manière de la lumière : cette proposition a déjà été démontrée (260) par l'expérience des miroirs. Le fait même du rayonnement démontre que les effets de ce calorique doivent aller en diminuant, comme ceux de la lumière, à mesure qu'on s'écarte du corps chaud : cependant on a prétendu que les effets du calorique diminuaient en raison simple de la dis-

tance, tandis que ceux de la lumière diminuent comme le carré de cette distance. Peut-être cette différence apparente tient-elle à ce que les expériences se font ordinairement sur des corps chauds d'une très-grande étendue, tandis que celles qui ont servi à constater la loi du rayonnement de la lumière ont été faites sur des masses lumineuses d'une très-petite étendue relativement aux distances.

Le calorique rayonnant paraît se mouvoir dans l'espace avec une trop grande rapidité pour qu'il ait été possible de mesurer directement sa vitesse par des expériences; mais comme cette vitesse est évidemment liée à la force de répulsion qui tend à écarter les particules de calorique contenues dans les corps, il est très-probable que cette vitesse est variable, et qu'elle dépend de la température à laquelle se trouve le corps qui rayonne le calorique.

Le calorique rayonnant traverse les espaces remplis de fluides élastiques. On peut supposer qu'il se porte dans les corps solides d'une molécule à l'autre à travers les espaces qui doivent les séparer suivant la théorie de de Laplace. Quant aux corps liquides, qui se laissent si facilement traverser par la lumière, il semblerait que le calorique rayonnant dût se mouvoir dans leur intérieur avec la même facilité; cependant on n'a encore pu constater ce fait par aucune expérience directe. En effet, si l'on essaye d'immerger dans un liquide un miroir concave, un thermomètre et un corps chaud, les particules du liquide se mettant aussitôt en mouvement autour du corps chaud, le refroidissent rapidement et montent à la surface; ce qui s'oppose complètement aux autres observations.

Le rayonnement du calorique est modifié par la nature des fluides élastiques qui remplissent l'espace et par la raréfaction de l'air, suivant des lois qui ne sont pas encore exactement déterminées. Leslie a trouvé que le rayonnement diminuait par la raréfaction de l'air, quoiqu'il restât

le même dans des fluides élastiques de densités très-différentes, comme l'air et l'hydrogène : mais ces résultats laissent une grande incertitude, qui dépend de ce qu'en observant la durée du refroidissement d'un corps par rayonnement, le fluide élastique qui l'environne se meut et s'échauffe autour de lui en lui enlevant une partie de son calorique; en sorte qu'il serait possible que la perte réelle par rayonnement dans le vide fût plus grande que dans l'air, et parût cependant plus petite, en s'en rapportant à la durée du refroidissement.

Les rayons calorifiques qui parcourent ainsi l'espace à la manière de la lumière, paraissent cependant en différer essentiellement en ce qu'ils n'affectent pas notre œil, et par conséquent ne rendent point les corps visibles. Ils en diffèrent encore par une autre circonstance fort importante qui a été étudiée avec beaucoup de soin par Leslie, dont Laroche a pourtant modifié les résultats par des observations plus récentes; nous voulons parler de l'influence des *écrans*, ou des corps minces et à surfaces planes, que l'on interpose entre un corps qui rayonne du calorique et le thermomètre qui doit en éprouver les effets.

Si l'on interpose de cette manière un plan solide extrêmement mince, et même parfaitement transparent, comme une lame de verre, le calorique rayonnant sera complètement intercepté dans le premier moment. Si l'écran reste quelque temps en place, les effets du rayonnement paraîtront se rétablir, mais resteront toujours beaucoup au-dessous de ce qu'ils étaient en l'absence de l'écran. Plusieurs circonstances modifieront du reste l'influence de cet écran; ainsi, plus il sera voisin du corps chaud, moins il interceptera de calorique; plus il aura d'épaisseur, plus il interceptera de calorique; et enfin ses effets dépendront de la nature de ses surfaces. Si la surface tournée du côté du

corps chaud est métallique, le rayonnement sera complètement intercepté. Si les deux surfaces sont noires, la diminution des effets sera peu considérable, lors même qu'il y aurait une lame métallique dans l'épaisseur de l'écran. Il faut conclure de ces faits : 1°. que tous les écrans interceptent complètement le calorique, jusqu'à ce qu'ils se soient échauffés et qu'ils rayonnent alors du côté du thermomètre ce qu'ils absorbent du côté opposé; 2°. que les écrans produisent d'autant plus d'effets qu'ils absorbent moins de calorique rayonnant ou en réfléchissent davantage par leurs surfaces; 3°. enfin que le calorique rayonnant diffère essentiellement de la lumière, parce qu'il ne traverse pas les corps transparens.

Cette dernière proposition avait été entrevue par d'autres physiciens et semble appuyée sur un grand nombre de faits : on voit, par exemple, que les carreaux de vitre s'échauffent beaucoup aux rayons du soleil, quoiqu'ils laissent librement passer la lumière; ce qui suppose qu'ils retiennent le calorique rayonnant. On observe aussi que les verres colorés que les astronomes emploient pour observer le soleil, éclatent souvent par l'effet de la haute température à laquelle ils s'élèvent. Toutes ces considérations prouvent que, dans beaucoup de circonstances, le calorique rayonnant ne peut pas traverser les corps transparens aussi facilement que la lumière; mais Delaroche, dans une suite d'expériences importantes sur cet objet, a découvert que le calorique rayonnant traversait les corps transparens avec d'autant plus de facilité qu'il était émis par un corps plus chaud, circonstance d'autant plus remarquable qu'elle semble rapprocher beaucoup la nature du calorique de celle de la lumière, et ne laisser peut-être entre ces deux causes de tant de phénomènes, que la différence de vitesse dépendante de l'énergie de l'impulsion. On est d'autant plus

porté à saisir ce rapprochement, qu'il est certain que tous les corps dont la température est élevée au-dessus de 500° du thermomètre centigrade deviennent lumineux.

263. *Lois de l'absorption du calorique rayonnant.* Lorsque le calorique, rayonnant librement dans l'espace, vient à tomber sur un corps quelconque, il se comporte diversement suivant la nature et la forme de la surface du corps.

Si la surface est blanche et polie, il n'y a presque pas de calorique absorbé; le corps ne s'échauffe point, et le calorique est réfléchi, comme le serait la lumière, et précisément suivant les mêmes lois; en sorte qu'il se forme des foyers de chaleur, comme il se forme des foyers de lumière au-devant des miroirs concaves. Si, au contraire, la surface du corps est noire et dépolie, le calorique rayonnant est presque complètement absorbé, le corps s'échauffe beaucoup, et presque aucune quantité de calorique n'est réfléchie de sa surface. Les différentes variétés qui peuvent se rencontrer dans la nature de la surface des corps produisent des effets intermédiaires. D'où il résulte que l'absorption du calorique rayonnant suit absolument les mêmes lois que le rayonnement, c'est-à-dire, que le corps qui rayonne le plus est aussi celui qui absorbe davantage, et réciproquement; et de plus, que la faculté réfléchissante est au contraire en raison inverse de la faculté d'émission, en sorte que le corps qui rayonne le plus de calorique est aussi celui qui en réfléchit le moins, et réciproquement.

Ces phénomènes peuvent se démontrer par un grand nombre d'expériences. Par exemple, le miroir poli qui réfléchissait beaucoup de calorique à son foyer sans s'échauffer lui-même, lorsqu'on le couvre d'une couche de noir de fumée, cesse de réfléchir du calorique et s'échauffe rapidement. Il faudra se hâter d'observer la différence;

car, lorsque le miroir se sera échauffé, il rayonnera beaucoup de calorique dont les effets se feront de nouveau sentir à son foyer. Si l'on remplit deux vases semblables d'eau à la même température; que l'un soit noirci en dehors et l'autre couvert d'une lame métallique polie, le refroidissement sera beaucoup plus rapide dans le vase noirci; mais si l'on remplit ces mêmes vases d'une eau beaucoup plus froide que la température extérieure, le vase noirci se réchauffera aussi beaucoup plus vite que le vase à surface métallique. En général, si l'on prend deux thermomètres parfaitement semblables, et que l'on noircisse la boule de l'un d'eux en couvrant l'autre d'une feuille d'étain, on trouvera que le thermomètre noirci indiquera beaucoup plus rapidement que l'autre les changemens survenus dans la température extérieure : cette différence est surtout très-remarquable quand on emploie des thermomètres à air, qui sont d'une grande sensibilité.

Les lois que nous venons d'exposer servent à rendre compte d'un grand nombre de phénomènes naturels, et fournissent des moyens précieux de modifier les effets de la chaleur naturelle ou artificielle. Les larges feuilles de quelques-uns de nos arbres fruitiers offrent des écrans naturels qui préservent les fruits de l'action directe du calorique rayonnant : en les supprimant en temps convenable, on accélère la maturité; on la hâte encore plus, en plaçant derrière chaque fruit un morceau d'étoffe noire qui s'échauffe considérablement aux rayons du soleil. Les cloches de verre commun ou les châssis vitrés s'échauffent pendant la durée de l'action du soleil, préservent la plante d'une action directe trop intense, et prolongent cette action pendant long-temps encore après que le soleil a quitté notre horizon. Les vêtemens blancs rendent plus supportable la vive action du soleil dans les pays chauds; les vêtemens noirs deviennent brûlans aux rayons du soleil. Il n'en

faut pourtant pas conclure que les vêtemens blancs soient généralement moins chauds que les vêtemens noirs; car, si la température de l'air est très-inférieure à celle du corps, les vêtemens noirs qui rayonnent davantage seront relativement moins chauds que les vêtemens blancs. Il ne faut pas non plus attacher trop d'importance à cette influence de la couleur dans les climats tempérés; attendu que les vêtemens étant, en général, de mauvais conducteurs du calorique; leur surface extérieure est bien loin d'acquérir la même température que le corps de l'individu qu'il recouvre. Nous donnerons sur cet objet les applications physiologiques, en traitant des rapports du calorique avec les êtres vivans.

CHAPITRE III.

DE L'ACTION DU CALORIQUE SUR LES CORPS, SANS CHANGEMENT D'ÉTAT.

264. Lorsque le calorique pénètre l'intérieur d'un corps solide, liquide ou gazeux, il peut s'y accumuler en quantité plus ou moins considérable sans faire changer l'état de ce corps, c'est-à-dire, sans liquéfier le solide ou réduire le liquide en gaz. Deux choses sont principalement dignes d'observation dans ces sortes d'unions du calorique avec les corps : d'abord, la manière dont le calorique les pénètre et s'étend dans toute leur masse; en second lieu, les changemens de volume qu'il produit dans ces corps. La manière dont le calorique se répand dans l'intérieur des corps est très-différente pour chacun d'eux, et porte le nom de *propriété conductrice* ou de *conductibilité*. Nous étudie-

rons d'abord cette circonstance importante, pour nous occuper ensuite des changemens de volume.

265. *De la Conductibilité.*—Nous possédons un grand nombre de moyens de produire ou de développer du calorique pour l'accumuler dans un corps, et il est extrêmement facile de faire des expériences directes pour observer la manière dont le calorique se transmet du point échauffé à ceux qui ne le sont pas. Ce mode de transmission est tout-à-fait différent dans les solides, dans les liquides et dans les gaz.

Conductibilité des solides. — Si l'on prend une barre de fer et que l'on place une de ses extrémités dans un foyer de chaleur, on remarque que cette extrémité s'échauffe rapidement, mais que le reste de la barre de fer ne tarde pas à s'échauffer aussi, successivement, depuis les points les plus voisins du foyer jusqu'à l'autre extrémité : tous les corps solides sont dans le même cas; mais la transmission du calorique est beaucoup plus rapide dans les uns que dans les autres, et c'est à la cause de ces phénomènes qu'on donne le nom de conductibilité.

Si l'on cherche à se faire une idée théorique de la manière dont le calorique se transmet ainsi, par une marche infiniment plus lente que le rayonnement, d'une partie à l'autre d'un corps solide, on pourra concevoir la barre de fer que nous avons prise pour exemple, comme composée d'une suite de couches parallèles et transversales dans toute sa longueur, et que nous désignerons par les lettres A, B, C, etc.; on pourra même réduire, par la pensée, chacune de ces couches à une seule molécule de fer. Cela posé, si l'on admet que les molécules de fer exercent une attraction sur les molécules du calorique, on pourra se représenter que la molécule A, ayant reçu directement du foyer une certaine quantité de calorique, la molécule B devra lui en enlever la moitié; que la molécule C enlèvera

à la molécule B la moitié de cette moitié, et ainsi de suite, jusqu'à l'extrémité de la barre de fer : mais comme la première molécule A recevra incessamment du foyer, de nouvelles quantités de calorique pour remplacer celui qui se transmettra ainsi, toute la barre de fer devra se trouver à la même température que le foyer, au bout d'un temps qui, d'après le calcul, doit être infini. Les choses ne se passent point ainsi dans les expériences, parce qu'aussitôt que la barre de fer est chaude, elle commence à rayonner du calorique en plus grande quantité, de sorte que son extrémité opposée au foyer n'atteint jamais, à beaucoup près, la température de celle qui reçoit directement le calorique.

Cette explication, toute fondée sur l'attraction des particules des corps pour les molécules de calorique, ne se prête nullement à l'application du calcul; et l'on a été forcé d'admettre que la molécule A, tout en échauffant la molécule B qui la touche, transmet aussi une certaine quantité de calorique aux molécules suivantes C, D, etc., qui ne la touchent pas; ce qui suppose qu'il se fait dans l'intérieur des corps solides un véritable rayonnement : en admettant cette supposition, on a trouvé des formules générales à l'aide desquelles on peut déterminer quelle sera, au bout d'un temps donné, la température d'un point quelconque d'un corps solide, pourvu que l'on connaisse la quantité de calorique accumulé dans le foyer, ou ce qu'on nomme sa température, et le degré de conductibilité du corps.

Pour déterminer, par expérience, le degré de conductibilité d'un corps solide, on le convertit en une barre de dimensions connues; on plonge une des extrémités de cette barre dans un milieu d'une température fixe et assez élevée; on pratique, dans différens points de la longueur de cette barre, des trous dans lesquels on plonge des ther-

momètres très-sensibles, en achevant de les remplir avec du mercure, et l'on observe ensuite avec exactitude au bout de quel temps et à quelle hauteur s'élèvent les différens thermomètres. Les recherches exactes de cette nature sont encore peu nombreuses et sont dues à M. Desprez.

Les résultats principaux des diverses expériences de ce genre sont : d'abord, *que les distances au foyer de chaleur formant une progression arithmétique, les températures des divers points décroissent dans une progression plus rapide*, qui n'est cependant pas une simple progression géométrique, elles forment une série récurrente dans laquelle, sur trois termes, la somme des deux extrêmes divisée par le moyen donne un quotient constant (1).

En second lieu, que la régularité de la série est altérée si les températures sont trop élevées.

En troisième lieu, que les seuls corps que l'on nomme bons conducteurs du calorique présentent cette marche régulière.

Enfin, que la température que peut prendre un corps à une certaine distance du foyer qui l'échauffe, est comme la racine carrée de son épaisseur, ce qui explique comment un fil métallique très-fin peut être tenu entre les doigts à peu de distance du point qui rougit, tandis que pour une grosse barre de fer le contraire arriverait.

On a déduit de ces expériences des rapports de conductibilité qui sont tels, que si on désigne par le nombre mille le maximum de conductibilité, et par des nombres proportionnels les degrés de cette propriété dans les différens corps essayés, on obtient la table suivante :

(1) La formule est $y = a^{-x}$ x étant la distance d'un thermomètre au foyer, et y l'excès de la température sur celle de l'espace environnant.

Or.	1000
Argent.	973,0
Cuivre.	898,2
Fer.	374,3
Zinc.	363,0
Étain.	303,9
Plomb.	179,6
Marbre.	23,6
Terre des fourneaux.	11,4

(DESPREZ.)

Ingenhouz avait trouvé un ordre un peu différent, savoir : argent, or, cuivre, étain, platine, fer, acier, plomb.

Après les métaux, viennent, dans l'ordre de conductibilité, les pierres, qui varient beaucoup entr'elles sous ce rapport ; en sorte que les briques, par exemple, conduisent beaucoup moins bien le calorique que la plupart des autres substances pierreuses. Le verre est un des plus mauvais conducteurs de calorique que nous connaissions : nous en avons tous les jours la preuve, puisque l'on peut tenir entre les doigts un tube de verre que l'on fait actuellement rougir dans la flamme de l'émailleur, à une distance d'un pouce ou deux. C'est par la même raison que le verre se brise si facilement par l'application de la chaleur ; car un seul point pouvant s'échauffer beaucoup sans transmettre son calorique aux autres parties du corps, la portion échauffée se dilate, comme nous le verrons bientôt, et détruit la cohésion du corps.

De tous les corps que nous connaissons, le charbon est celui qui conduit le moins bien le calorique. Toutes les substances qui contiennent beaucoup de carbone jouissent aussi d'une très-faible conductibilité.

Il faut remarquer qu'indépendamment de la nature même

de la substance, les amas de filamens très-fins, qui ne se touchent que par très-peu de points et qui laissent entre eux de grands vides, sont presque insusceptibles de conduire le calorique : c'est pourquoi la ouate de coton ou de soie, la laine cardée, les étoffes tissues des mêmes substances, sont très-propres à tenir le calorique enfermé dans les espaces qu'elles enveloppent, et sont si fréquemment usitées comme vêtemens d'hiver.

Conductibilité des liquides. — La faculté conductrice des liquides pour le calorique est si faible, qu'elle a pu être considérée comme absolument nulle, jusqu'à ce que des expériences faites avec beaucoup de soin soient venues démontrer qu'elle existe jusqu'à un certain point; néanmoins, il est facile de s'assurer que les liquides s'échauffent, dans la plupart des cas, avec une grande rapidité, mais par un mode tout différent de la conductibilité proprement dite. Il est donc fort important de comparer les différens modes d'échauffement des liquides.

Si l'on applique du calorique à la partie inférieure d'un vase contenant une masse d'eau ou de tout autre liquide, au bout d'un certain temps on pourra s'assurer que la partie supérieure du liquide est très-chaude, tandis que sa partie inférieure est encore froide. Si l'on répète la même expérience dans un vase de verre, et que l'on jette dans l'eau quelque poussière qui puisse y flotter, comme de la résine en poudre, on verra, pendant l'application de la chaleur, des courans plus ou moins rapides s'établir dans l'intérieur de la masse d'eau ; les molécules qui touchaient le fond du vase s'élèveront à sa surface pour être remplacées par d'autres molécules ; et si l'on échauffe un des points de la paroi latérale du même vase, il s'établira dans ce point un courant ascendant.

Ces expériences démontrent que les molécules d'eau deviennent plus légères lorsqu'elles s'échauffent, qu'elles

montent par conséquent à la surface, et sont continuellement remplacées par d'autres molécules non encore échauffées. D'où l'on peut conclure, qu'à raison de la mobilité de leurs particules, les liquides sont susceptibles de *charrier*, en quelque sorte, le calorique, au lieu de le *conduire;* circonstance qui accélère beaucoup l'échauffement total, et qui s'oppose à ce que la propriété conductrice soit aperçue dans le cas où elle existerait.

Il y a un moyen fort simple de supprimer le mode d'échauffement dont nous venons de parler, et d'isoler par conséquent la faculté conductrice. Ce moyen consiste à échauffer les liquides par leur face supérieure; car, alors, les molécules échauffées et devenues plus légères tendent à rester à la surface, et il ne se produit aucun mouvement dans le liquide. Rumfort a fait le premier la curieuse expérience suivante : Si l'on fait congeler au fond d'un vase une certaine quantité d'eau; si l'on recouvre cette glace d'une couche de mercure de quelques millimètres d'épaisseur, et si l'on pose ensuite à la surface de ce mercure un cylindre de fer extrêmement chaud, on pourra l'y laisser pendant un temps très-considérable sans fondre aucune partie de la glace, qui ne se trouve séparée du corps chaud que par une couche mince de liquide. Ce phénomène est si marquant, que Rumfort en avait conclu que les liquides ne conduisaient pas du tout le calorique. On peut répéter l'expérience d'une manière plus simple, en remplissant à moitié un vase de verre avec de l'eau froide, et versant doucement à la surface de cette eau une certaine quantité d'huile très-chaude : malgré ce contact, l'eau restera froide, ou du moins ne s'échauffera que très-peu.

Ces expériences, répétées avec beaucoup de soin et variées d'un grand nombre de manières, ont appris que les liquides avaient, en effet, une certaine conductibilité, mais

qu'elle était extrêmement faible, comparativement à celle des autres corps. On a cru reconnaître que le mercure conduisait environ deux fois plus que l'eau ou l'huile, à volume égal.

Conductibilité des gaz. — Les fluides élastiques sont éminemment susceptibles de s'échauffer, à la manière des liquides, par le déplacement de leurs molécules; mais cette circonstance n'est pas la seule qui, chez eux, s'oppose à l'observation de leur conductibilité; ils permettent, en outre, le rayonnement du calorique à travers leur masse: en sorte qu'ils s'échauffent rapidement, dans quelque direction qu'on essaye de leur transmettre du calorique, sans qu'il soit permis d'isoler les effets de la conductibilité, et par conséquent de constater son existence.

La faculté de s'échauffer par le déplacement de leurs molécules, dont les fluides élastiques jouissent à un si haut degré, donne lieu à une multitude de phénomènes remarquables dans la nature, dans les arts et dans les habitudes de la vie, dont il est toujours facile de se rendre compte à l'aide des deux principes généraux suivans: 1°. lorsqu'une partie quelconque d'une masse d'air devient plus chaude que le reste de la masse, cette portion s'élève; 2°. lorsqu'une partie quelconque d'une masse d'air se trouve refroidie, elle descend vers les régions les plus basses qu'elle puisse rencontrer.

C'est ainsi qu'il s'établit autour d'un corps chaud un courant d'air ascendant qui fait tourner ces légères spirales de papier qu'on suspend quelquefois à côté d'un tuyau de poêle. Par la raison inverse, il s'établit un courant d'air descendant autour d'un corps, plus froid que l'atmosphère. Les mêmes lois produisent ces courans rapides qui alimentent nos foyers et emportent avec eux les produits volatils de la combustion. Enfin, l'ascension de l'air échauffé, qui

a produit l'invention des mongolfières, est aussi la cause qui fait que la partie supérieure d'une salle de spectacle en est le point le plus échauffé.

Quelle que soit au fond la conductibilité des gaz pour le calorique, il est certain qu'une petite lame d'air, dont les particules ne peuvent pas se mouvoir librement, devient un puissant obstacle au passage du calorique, tandis qu'au contraire une masse de gaz enfermée dans une enveloppe éprouve presque instantanément les effets d'une chaleur communiquée, c'est ce qu'on peut remarquer sur les aérostats momentanément frappés des rayons du soleil, et particulièrement dans l'usage des thermomètres à air.

266. *Changement de volume des corps par le calorique.* — C'est un fait extrêmement facile à constater, par les expériences les plus vulgaires, que les corps augmentent de volume quand ils s'échauffent, et diminuent de volume quand ils se refroidissent. Mais pour analyser avec soin ces sortes de phénomènes, il est indispensable de posséder un moyen exact de comparer les échauffemens et les refroidissemens, ou ce que l'on nomme généralement la température des corps. L'instrument qui a été imaginé à cet effet porte le nom de *thermomètre;* il est fondé lui-même sur les dilatations qu'éprouvent certains liquides, comme le mercure. On s'en sert en le mettant en contact avec les corps qu'on examine, et par conséquent il exprime les effets de chaleur que ces corps sont capables de produire sur lui; la dilatation de son liquide est appréciée par les degrés d'une échelle, et le nombre de ces degrés est ordinairement ce que l'on entend par *température des corps:* c'est ainsi que l'on dit qu'un corps est à 0°, 10°, 20°, etc., de température. Nous expliquerons en détail la nature et les propriétés de cet instrument, en parlant de la mesure du calorique; mais ces notions générales étaient indispensables à l'intelligence des lois qui président aux change-

mens de volume des corps : nous devons même ajouter que les indications du thermomètre, dépendant évidemment du passage du calorique de l'intérieur du corps examiné au thermomètre lui-même, et réciproquement, on peut considérer le calorique, dont les variations sont indiquées par le thermomètre, comme étant dans les corps à l'état de liberté.

Les différens corps de la nature sont très-différemment dilatés ou condensés par les mêmes changemens dans leur température. Nous devons nous occuper successivement des changemens de volume des gaz, des liquides et des solides.

267. *Changement de volume des gaz.* — On a cru pendant long-temps que les gaz se dilataient tous diversement par des changemens semblables de température; mais lorsqu'on est parvenu à les obtenir dans un grand état de pureté et de sécheresse, on n'a pas tardé à reconnaître que leur dilatation était parfaitement égale pour un même nombre de degrés du thermomètre. MM. Dalton et Gay-Lussac sont arrivés séparément, et par des voies différentes, à ce même résultat. Nous allons décrire la méthode de M. Gay-Lussac, qui comporte une grande exactitude.

Un vase A B C D (*fig.* 118) est rempli d'un liquide que l'on peut élever et maintenir à différentes températures : dans ce liquide se trouve plongé un thermomètre *a b*, qui donne avec exactitude la température de ce liquide au niveau de la boule *a* dans le moment des observations; on prend, d'une autre part, une petite boule de verre *c*, soufflée à l'extrémité d'un tube *c d*, parfaitement cylindrique ou gradué par la méthode que nous indiquerons en parlant du thermomètre. On mesure avec une grande précision la capacité de la boule et du tube en pesant le mercure qu'ils peuvent contenir, et l'on trace sur le tube des divisions qui représentent de très-petites frac-

tions du volume total, par exemple, des millièmes.

L'instrument ainsi préparé, on dessèche fort exactement l'intérieur de la boule et du tube, en les faisant communiquer avec un vase contenant du chlorure de calcium; on fait passer ensuite dans l'intérieur le gaz qu'on veut examiner, après l'avoir préalablement parfaitement desséché. Pour y parvenir, on fait d'abord le vide dans l'appareil; on le remplit de gaz, on le vide une seconde fois et on le remplit encore, de manière à s'assurer qu'il ne reste pas de quantité notable d'air atmosphérique. Le tube étant rempli de gaz, on y introduit une petite bulle de mercure, qui s'arrête en un point m quelconque de sa longueur; lorsque le tube est ainsi disposé, on le fait passer dans un bouchon, qui s'ajuste exactement à une ouverture latérale pratiquée dans la paroi B D. Maintenant, le liquide étant dans la caisse à 0°, la bulle de mercure s'arrêtera dans un point m, déterminé par le volume qu'occupe le gaz à cette température sous la pression barométrique alors existante; et si l'on porte la température du liquide à 10°, par exemple, le volume de gaz augmentera et la bulle de mercure se portera en m'; si on élève encore la température jusqu'à 20°, la bulle de mercure se portera en m''. Des effets inverses auront lieu si on abaisse la température après l'avoir élevée. On voit donc que l'on obtient, par ce moyen, la mesure exacte du volume des gaz à des températures diverses, et par conséquent les changemens de volume qui résultent des changemens de température. Nous avons supposé que la pression barométrique restait la même pendant toute la durée des expériences : s'il en était autrement, il faudrait rectifier les résultats des expériences d'après les différences de pression.

A l'aide de cette méthode expérimentale rigoureuse on a reconnu les lois suivantes :

1°. Tous les gaz, quelle que soit leur différence de poids

spécifique, se dilatent d'une même quantité pour un même nombre de degrés thermométriques de température, et se condensent de la même quantité pour un même nombre de degrés d'abaissement.

2°. Les gaz se dilatent ou se condensent uniformément d'une égale quantité pour des nombres égaux de degrés thermométriques : ainsi l'accroissement de volume de 0° à 10° est exactement le même que celui qui survient de 10° à 20°.

3°. La quantité absolue du changement de volume des gaz est de 0,00375 du volume primitif pour un degré du thermomètre, ou de 0,375 pour 100° : ainsi, un volume d'air, exprimé par 100000, en s'échauffant de 1°, devient 100375, et en s'échauffant de 100° devient 137500. On voit donc que l'augmentation de volume de 0° à 100° est un peu plus d'un tiers du volume primitif.

Il est très-probable que les vapeurs suivent la même loi de dilatation et de condensation que les gaz, lorsqu'elles sont isolées des liquides qui les produisent, et tant que la température est suffisante pour maintenir leur existence; du moins la chose est-elle démontrée pour des températures peu élevées, quoiqu'elle reste douteuse pour les hautes températures.

268. *Changement de volume des liquides.* — Les corps liquides changent de volume par les additions ou soustractions du calorique, aussi bien que les fluides aériformes; mais ce phénomène est accompagné de circonstances fort différentes, et d'abord il est beaucoup moins prononcé. Ainsi l'alcool, par exemple, augmente seulement de $\frac{1}{9}$ de son volume en passant de 0° à 100°, tandis que la dilatation des gaz est de plus d'un tiers. Ensuite, chaque liquide a son mode et sa loi de dilatation; en sorte qu'il peut y avoir de très-grandes différences dans les changemens de volume de différens liquides pour un même nombre

de degrés thermométriques. C'est ainsi que l'alcohol se dilatant de $\frac{1}{9}$, le mercure ne se dilate que de $\frac{1}{55}$ environ. La dernière différence remarquable entre les fluides élastiques et les liquides, c'est que ceux-ci ne se dilatent point uniformément pour un même nombre de degrés aux diverses températures, et que la quantité relative de leur dilatation s'accroît à mesure qu'ils approchent du terme de leur ébullition ou de leur réduction en vapeur sous la pression atmosphérique.

Il a été extrêmement difficile de mesurer avec exactitude la dilatation des liquides, attendu qu'il est nécessaire de les enfermer dans des vases à parois solides, dont la substance est elle-même susceptible de changemens de volume par les effets du calorique. Un grand nombre de physiciens se sont occupés de cet objet; les expériences les plus exactes ont été faites par MM. Petit et Dulong sur le mercure, par une méthode fondée sur cette loi d'hydrostatique, que les hauteurs de deux colonnes liquides qui se font équilibre sont en raison inverse de leur densité. Ces physiciens observaient avec des lunettes armées de micromètres, les niveaux exacts de deux colonnes de mercure communiquant ensemble par le bas, et dont l'une était maintenue à 0° par de la glace fondante, tandis que l'autre était échauffée à divers degrés par un bain d'huile. Nous donnons ici une table des dilatations d'un grand nombre de liquides, d'après les recherches de divers physiciens.

Mercure.	Dalton.	0,020000	$\frac{1}{50}$
—	Lord Charles Cavendish.	0,018870	$\frac{1}{53}$
—	Deluc.	0,018000	$\frac{1}{56}$
—	Général Roy.	0,017000	$\frac{1}{59}$

— Shuckburg.	0,01851	$\frac{1}{54}$
— Lavoisier et Laplace.	0,01810	$\frac{1}{52,22}$
— Haellstroem.	0,0181800	$\frac{1}{55}$
— Dulong et Petit.	0,0180180	$\frac{1}{55,50}$
— *Id.* 100° centigr. à 200°.	0,0184331	$\frac{1}{54,25}$
— Dulong et Petit. 200° cent. à 300°. . .	0,0188700	$\frac{1}{53}$
— *Id.* dans le verre de 0° centigr. à 100°.	0,015432	$\frac{1}{64,8}$
— *Id.* dans le verre de 100° cent. à 000°.	0,015680	$\frac{1}{63,78}$
— *Id.* dans le verre de 200° cent. à 300°.	0,0158280	$\frac{1}{63,18}$
Eau. Kirwan à partir de + 4° centigr., son maximum de densité.	0,04332	$\frac{1}{23,08}$
Acide muriatique (poids spécifique 1,137). Dalton.	0,0600	$\frac{1}{17}$
— nitrique (poids spécifique 1,40). *Id.*	0,1100	$\frac{1}{9}$
— sulfurique (poids spécifique 1,85). *Id.*	0,0600	$\frac{1}{17}$
Alcool. . . . . *Id.*	0,1100	$\frac{1}{9}$
Eau. . . . . *Id.*	0,0460	$\frac{1}{22}$
Eau saturée de sel commun. . . . . *Id.*	0,0500	$\frac{1}{20}$
Éther sulfurique. . . . . *Id.*	0,0700	$\frac{1}{14}$
Huiles fixes. . . . . *Id.*	0,0800	$\frac{1}{12,5}$
Huile de térébenthine. . . . . *Id.*	0,0700	$\frac{1}{14}$
Eau saturée de sel commun. Robison.	0,05198	$\frac{1}{19}$

Cette table fournit un grand nombre d'observations très-intéressantes. Nous remarquerons d'abord que toutes ces dilatations expriment l'accroissement de volume cubique ou dans tous les sens à-la-fois, même lorsque les observations ont été faites sur les accroissemens linéaires d'une colonne liquide, puisqu'en effet, dans un cylindre à parois fixes, l'augmentation de hauteur de la colonne exprime l'augmentation de volume dans tous les sens.

On voit que les dilatations observées pour le mercure de 0° à 100° sont différentes suivant les divers observateurs; mais il est très-probable que les résultats de MM. Petit et Dulong sont les plus exacts. On voit encore que les dilatations du mercure, observées dans le verre, paraissent beaucoup moindres que la dilatation réelle, ce qui tient à ce que le vase de verre s'agrandit réellement par sa propre dilatation, ce qui diminue l'élévation apparente de la colonne de mercure.

Une autre observation, non moins importante, sur la dilatation absolue du mercure, c'est qu'elle augmente avec la température, puisque de 0° à 100° elle est de $\frac{1}{55,50}$, que de 100° à 200° elle est de $\frac{1}{54,25}$, et que de 200° à 300° elle est de $\frac{1}{51}$. Mais un résultat fort remarquable des recherches de MM. Petit et Dulong, c'est que cette dilatation devient à-peu-près uniforme quand on l'observe dans le verre, car elle se trouve, dans les trois périodes indiquées, $\frac{1}{6\ 4}$, $\frac{1}{63,78}$, $\frac{1}{63,18}$; circonstance très-heureuse, puisqu'elle rend à-peu-près uniforme la dilatation du mercure dans les thermomètres.

On peut voir aussi, par l'aspect général de cette table, que les liquides qui bouillent à la température la plus basse, sont très-souvent ceux qui se dilatent le plus pour un même nombre de degrés thermométriques. C'est ainsi que l'eau, qui bout à 100°, se dilate de $\frac{1}{22}$, lorsque le mercure, qui bout à 350°, se dilate de $\frac{1}{55,50}$. Néanmoins, il

s'en faut de beaucoup que cette règle soit générale; puisque l'acide nitrique se dilate plus que l'éther, et l'huile fixe à-peu-près autant que l'eau.

Dans tous les corps liquides dont nous avons parlé jusqu'ici, un accroissement de température produit toujours une dilatation, et réciproquement; mais l'eau présente, à cet égard, une anomalie fort remarquable, lorsqu'elle approche du terme où elle peut se convertir en glace, et qui correspond à 0° du thermomètre centigrade. En effet, si l'on pose un vase rempli d'eau à 10° dans une chambre dont la température soit au-dessous de 0°, et si l'on place des thermomètres très-sensibles au fond et à la surface de cette eau, on verra d'abord la partie inférieure du liquide devenir plus froide que sa partie supérieure, attendu que les molecules refroidies deviendront plus lourdes et gagneront le fond du vaisseau; mais lorsqu'on approchera du terme de 0°, l'inverse arrivera, c'est-à-dire que la surface du liquide sera plus froide que le fond; ce qui suppose que les molécules plus froides deviendront plus légères.

Les académiciens de Florence avaient remarqué, il y a long-temps, que si l'on plonge un thermomètre fait avec de l'eau dans un mélange réfrigérant, le liquide descend dans le thermomètre jusqu'à un certain point et remonte ensuite d'une quantité notable avant de se congeler. Ces expériences ayant été répétées, soit en Angleterre, soit en France, un grand nombre de fois, on a trouvé que le *maximum* de la densité de l'eau était à 4°44 au-dessus de 0°; qu'elle diminuait de densité en se refroidissant davantage, comme en s'échauffant; en sorte que sa densité était à-peu-près la même à 0° et à 10° au dessus. On attribue ce phénomène à ce que l'eau liquide qui approche du terme de congélation, tend déjà à prendre un arrangement moléculaire qui lui fasse occuper plus de volume, comme il arrive lorsqu'elle se congèle effectivement.

L'eau étant pour nous un liquide de la première importance, nous croyons devoir donner ici une table des changemens de volume de ce liquide, depuis — 1°,11 jusqu'à 100°, dressée par le docteur Young, d'après les expériences de Gilpin et Kirwan.

TABLE DE L'EXPANSION DE L'EAU,

PAR GILPIN ET KIRWAN.

TEMPÉRATURE CENTIGRADE.	EXPANSION	
	OBSERVÉE.	CALCULÉE.
— 1,11	0,00020	0,00018
» 0	0,00012	0,00011
+ 1,11	0,00006	0,00005
3,89	0,00000	0,00000
6,67	0,00006	0,00005
8,89	0,00018	0,00018
9,44	0,00022	0,00022
12,22	0,00049	0,00048
15 »	0,00086	0,00084
17,78	0,00133	0,00130
20,56	0,00188	0,00186
23,33	0,00251	0,00251
26,11	0,00321	0,00326
32,22	0,00491	0,00513
37,78	0,00692	0,00720
38,89	0,00760	0,00763
50 »	0,01258	0,01264
61,11	0,01833	0,01839
72,22	0,02481	0,02512
83,33	0,03198	0,03219
94,44	0,04005	0,03961
100 »	0,04333	0,04332

M. Gay-Lussac a recherché les changemens de volume des liquides en observant leur contraction pendant leur refroidissement, méthode qui comporte un haut degré

d'exactitude. Il suppose le volume du liquide égal à 1000 avant les refroidissemens, et part, pour chacun des liquides, de la température de son ébullition, savoir, de 100° pour l'eau, de 78°,41 pour l'alcool, de 46°,60 pour le sulfure de carbone, et de 35°,66 pour l'éther. Il abaisse uniformément la température de ces liquides de 5° en 5° centigr., et note la contraction ou diminution de volume de chaque liquide. On peut voir, dans la table suivante, le résultat de ses expériences, qui montre que l'alcool et le sulfure de carbone éprouvent des contractions presque semblables par le même abaissement de température au dessous de leur terme d'ébullition; ce qui ne se confirme pas pour les autres liquides, puisque les contractions de l'eau sont à-peu-près moitié moindres.

TABLE DE LA CONTRACTION DES LIQUIDES,

PAR M. GAY-LUSSAC.

ABAISSEMENS de température.	EAU. — Contractions.	ALCOOL. — Contractions.	SULFURE DE CARBONE. — Contractions.	ÉTHER SULFURIQUE. — Contractions.
0°	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,34	5,55	6,14	8,15
10	6,61	11,43	12,01	16,17
15	10,50	17,51	17,98	24,16
20	13,15	24,34	23,80	31,83
25	16,06	29,15	29,65	39,14
30	18,85	34,74	35,06	46,42
35	21,52	40,28	40,48	52,06
40	24,10	45,68	45,77	58,77
45	26,50	50,85	51,08	65,48
50	28,56	56,02	56,28	72,01
55	30,60	61,01	61,14	78,38
60	32,42	65,96	66,21	»
65	34,02	70,74	»	»
70	35,47	75,48	»	»
75	36,70	80,11	»	»

Il ne paraît pas impossible de trouver des formules empiriques, qui expriment la loi de dilatation des liquides. M. Biot a trouvé, par exemple, que la formule $\delta t = at + bt^2 + ct^3$, dans laquelle t désigne la température en degrés du thermomètre centigrade, a, b, c, des coëfficiens constans qui dépendent de la nature du liquide, et δt, la dilatation vraie pour l'unité de volume, pouvait servir à calculer la dilatation d'un liquide quelconque à un degré donné de température.

269. *Changement de volume des solides.* — Les changemens de volume des solides, à différentes températures, sont beaucoup moins considérables que ceux qu'éprouvent les liquides, puisque le moins dilatable des liquides, c'est-à-dire le mercure, augmente de $\frac{1}{55,50}$ pour 100° de chaleur, tandis qu'un des solides les plus dilatables, c'est-à-dire le plomb, n'augmente que de $\frac{1}{371}$, par la même variation de température. Les solides n'offrent pas de rapports mieux déterminés que les liquides entre leur faculté de changer de volume et leurs autres propriétés, comme leur fusibilité, par exemple; car le platine et le verre éprouvent à-peu-près les mêmes changemens de volume, et le plomb se dilate seulement deux fois plus que le fer, quoiqu'il soit infiniment plus fusible.

La dilatation des solides est à peu-près régulière, dans des limites bornées de l'échelle thermométrique; mais, de même que les liquides se dilatent davantage en approchant de leur terme d'ébullition, les solides se dilatent davantage en approchant de leur terme de fusion. Ainsi le verre se dilate de $\frac{1}{1162}$ de 0° à 100°, de $\frac{1}{1089}$ de 100° à 200°, et de $\frac{1}{987}$ de 200° à 300°.

On peut faire usage de différentes méthodes pour déterminer avec exactitude la dilatation des corps solides; et, dans tous les cas, il est nécessaire d'employer des instrumens qui permettent d'apprécier les plus petites différences,

puisque les dilatations sont par elles-mêmes déjà très-petites. On peut, à la méthode de Borda, comparer avec exactitude la longueur d'une règle métallique à différentes températures, à l'aide d'un nonius qu'on observe à la loupe. Connaissant la dilatation du mercure pour 100°, on peut, à la méthode de M. Dulong, mesurer celle du verre, en remplissant complètement de ce liquide une boule terminée par un tube étroit, pesant le tout avec beaucoup d'exactitude, et plongeant ensuite la boule dans l'eau à 100°. Il est évident que le mercure se dilatera et qu'une portion s'échappera du vase. En pesant donc de nouveau, ce qui manquera en mercure exprimera la dilatation du métal, moins celle du verre; et si l'on connaît la dilatation du mercure, on en conclura la dilatation réelle de la boule de verre de 0° à 100°. On voit que, des deux méthodes que nous venons de décrire, l'une indique l'expansion linéaire ou dans un seul sens, et qu'il faudra la multiplier par 3 pour obtenir l'expansion cubique; tandis que la seconde donne directement l'expansion cubique, et qu'il faudra la diviser par 3 pour obtenir l'expansion linéaire. MM. Petit et Dulong ont appliqué la connaissance acquise de la dilatation du mercure et de celle du verre à la recherche de la dilatation des métaux solides : ils ont introduit dans un tube de verre fermé par un bout, un barreau métallique de dimensions bien connues; ils ont ensuite soudé à l'extrémité ouverte de ce tube large, un tube étroit, divisé en degrés représentant des poids connus de mercure; ils ont ensuite rempli tout l'appareil de ce même liquide et l'ont exposé à des températures connues : le mercure montait dans le tube, gradué, dans les élévations de température, et descendait par les refroidissemens. L'effet total, ainsi produit, se composait de la dilatation du mercure, plus la dilatation du barreau métallique, moins la dilatation du verre : il était donc facile, en retranchant la

dilatation du mercure et ajoutant celle du verre, d'obtenir celle du barreau métallique, dont le volume était, du reste, déterminé, non pas par une mesure, toujours plus ou moins infidèle, mais en divisant son poids absolu par son poids spécifique.

Un grand nombre de physiciens s'étant occupés de recherches de ce genre, nous donnerons ici une table extraite du *Dictionnaire de Chimie* du docteur Ure, qui contient la plupart des observations réduites à la dilatation linéaire, et exprimées en fractions décimales et en fractions ordinaires.

DILATATION LINÉAIRE DES SOLIDES PAR LA CHALEUR.

Dimensions que prend, à 100°, une barre dont la longueur à 0° est 1,00000000.

			Dilatations en fractions vulgaires.
Verre (en tubes).	Smeaton.	1,00083333	
Idem.	Roy.	1,00077615	
Idem.	Delue, moyenne.	1,00082800	
Idem.	Dulong et Petit.	1,00086130	$\frac{1}{1116}$
Idem.	Lavoisier et Laplace. . .	1,00081166	$\frac{1}{1148}$
Verre (en plaques). . . .	*Idem*. *Idem*.	1,00089090	$\frac{1}{1122}$
Idem crown glass. .	*Idem*. *Idem*.	1,00087572	$\frac{1}{1142}$
Idem. *Idem*. .	*Idem*. *Idem*.	1,00089760	$\frac{1}{1114}$
Idem. *Idem*. .	*Idem*. *Idem*.	1,00091751	$\frac{1}{1090}$
Idem (en baguettes).	Roy.	1,00080787	
Sapin.	Roy, comme le verre. . .		
Platine.	Borda.	1,00085655	
Idem.	Dulong et Petit.	1,00088420	$\frac{1}{1151}$
Idem.	Troughton.	1,00099180	
Idem et verre.	Berthoud.	1,00110000	
Palladium.	Wollaston.	1,00100000	
Antimoine.	Smeaton.	1,00108300	
Fonte de fer prismatique. .	Roy.	1,00110970	
Fonte de fer.	Lavoisier, pr. le dr. Young.	1,00111111	

Acier.	Troughton.	1,00118990	
Acier (en baguettes). . .	Roy.	1,00114470	
Acier boursoufflé.	Phil. Trans., 1795, 428.	1,00112500	
Idem.	Smeaton.	1,00115000	
Acier non trempé.	Lavoisier et Laplace. . .	1,00108975	$\frac{1}{927}$
Idem. Idem. Idem.	*Idem. Idem*. . .	1,00107956	$\frac{1}{926}$
Acier trempé jaune. . . .	*Idem. Idem*. . .	1,00136900	
Idem. Idem. Idem.	*Idem. Idem*. . .	1,00138600	
Id. Id. Id. à une chaleur plus élevée.	*Idem. Idem*. . .	1,00123956	$\frac{1}{807}$
Acier.	Troughton.	1,00118980	
Acier dur.	Smeaton.	1,00122500	
Acier recuit.	Muschenbroek.	1,00122000	
Acier trempé.	*Idem*.	1,00137000	
Fer.	Borda.	1,00115600	
Fer.	Smeaton.	1,00125800	
Fer doux forgé.	Lavoisier et Laplace. . .	1,00122045	
Fer rond passé à la filière.	*Idem. Idem*. . . .	1,00123544	
Fil de fer.	Troughton.	1,00144010	
Fer.	Dulong et Petit.	1,00118203	$\frac{1}{846}$
Bismuth.	Smeaton.	1,00159200	
Or recuit.	Muschenbroek.	1,00146000	
Or.	Ellicot, par comparaison.	1,00150000	
Idem au titre.	Lavoisier et Laplace . .	1,00146606	$\frac{1}{682}$
Idem, Paris, non recuit. .	*Idem. Idem*. . . .	1,00155155	$\frac{1}{645}$
Idem, *idem*, recuit.	*Idem. Idem*. . . .	1,00151561	$\frac{1}{661}$
Cuivre.	Muschenbroek.	1,0019100	
Idem.	Lavoisier et Laplace. . . .	1,00172214	$\frac{1}{582}$
Idem.	*Idem. Idem*. . . .	1,00171222	$\frac{1}{584}$
Idem.	Troughton.	1,00191880	
Idem.	Dulong et Petit.	1,00171821	$\frac{1}{582}$
Laiton.	Borda.	1,00178300	
Idem.	Lavoisier et Laplace. . .	1,00186671	
Idem.	*Idem. Idem*. . . .	1,00188971	
Laiton en écaille, supposé de Hambourg.	Roy.	1,00185540	

Fonte de laiton.	Smeaton.	1,00187500	
Laiton anglais en plaques, en baguettes.	Roy.	1,00189280	
Id. Id. en forme d'auge. .	*Idem.*	1,00189490	
Laiton.	Troughton.	1,00191880	
Fil de laiton.	Smeaton.	1,00193000	
Laiton.	Muschenbroek.	1,00216000	
Cuivre, 8; étain, 1. . . .	Smeaton	1,00181700	
Argent.	Herbert.	1,00189000	
Idem.	Ellicot, par comparaison.	1,0021000	
Idem.	Muschenbroek.	1,00212000	
Idem de coupelle.	Lavoisier et Laplace. . .	1,00190974	$\frac{1}{524}$
Idem, au titre de Paris. .	*Idem.* *Idem.* . . .	1,00190868	$\frac{1}{524}$
Argent.	Troughton.	1,0020826	
Laiton, 16 parties; étain, 1.	Smeaton.	1,00190800	
Métal de miroir.	*Idem.*	1,00193300	
Soudure de zinc; laiton, 2 parties; zinc, 1. . . .	*Idem.*	1,00205800	
Étain de Malaca.	Lavoisier et Laplace. . .	1,00193765	$\frac{1}{516}$
Étain de Falmouth.	*Idem.* *Idem.* . . .	1,00217298	$\frac{1}{462}$
Potée fine.	Smeaton.	1,00228300	
Etain en grenaille.	*Idem.*	1,00248300	
Etain.	Muschenbroek.	1,00284000	
Soudure molle, plomb, 2 parties; étain, 1.	Smeaton.	1,00250800	
Zinc, 8; étain, 1, un peu battu.	*Idem.*	1,00269200	
Plomb.	Lavoisier et Laplace. . .	1,00284836	$\frac{1}{351}$
Idem.	Smeaton.	1,00286700	
Zinc.	*Idem.*	1,00294200	
Zinc, réduit par l'action du marteau, à un tiers d'épaisseur.	*Idem.*	1,00301100	
Verre de 0° à 100°.	Dulong et Petit.	1,00086130	$\frac{1}{1162}$
Idem, de 100° à 200° cent.	*Idem.* *Idem.*	1,00891827½	$\frac{1}{1089}$
Idem, de 200° à 300° cent.	*Idem.* *Idem.*	1,000101114	$\frac{1}{987}$

Les deux dernières mesures ont été prises au moyen d'un thermomètre à air.

On voit, par la Table précédente, que les dilatations n'ont, ainsi que nous l'avons dit, aucun rapport déterminé avec les autres propriétés des corps solides; que les différentes espèces de verre présentent à-peu-près les mêmes dilatations; que le platine est le moins dilatable des métaux, et à-peu-près aussi dilatable que le verre; que les métaux qui ont été récrouis, et l'acier trempé, sont plus dilatables que les métaux dans leur état naturel; enfin, que la dilatation du fer étant $\frac{1}{846}$, et celle du cuivre $\frac{1}{582}$, se trouvent à-peu-près dans le rapport de 3 à 5; circonstance sur laquelle on a fondé, comme nous l'avons vu, les moyens de compensation de la longueur des pendules et des spirales du chronomètre.

CHAPITRE IV.

DU CHANGEMENT D'ÉTAT DES CORPS PAR LE CALORIQUE.

270. Nous avons vu, en traitant des différens états des corps et des différentes puissances qui agissent dans la nature, que l'on pouvait raisonnablement attribuer la solidité, la liquidité et la fluidité élastique, à des équilibres plus ou moins stables qui s'établissent entre les forces de cohésion et la force de répulsion des particules du calorique. Mais cette proposition est, en quelque sorte, démontrée, par la facilité avec laquelle la plupart des corps peuvent passer de l'état solide à l'état liquide, et de l'état liquide à l'état de fluide aériforme, par des additions de calorique, qui doivent augmenter les puissances de répulsion : 1°. parce qu'elles augmentent réellement le nombre des molécules du calorique; 2°. parce qu'elles les placent plus près les unes des autres.

L'étude des changemens d'état des corps présentant un des points les plus importans des recherches physiques,

nous considérerons successivement la fusion des solides, la solidification des liquides, la conversion des liquides en vapeur, la condensation des vapeurs en liquides, et enfin les propriétés des vapeurs, isolées ou dans leur mélange avec les gaz.

271. *De la fusion ou liquéfaction des solides.* — La plupart des corps qui existent à la surface du globe sont naturellement, à l'état solide, aux températures ordinaires de ses différentes régions; mais lorsqu'on pénètre ces corps de calorique, ils sont susceptibles de passer à l'état liquide à différens degrés de température, qui sont indiqués soit par le thermomètre, pour les températures médiocres, soit par les pyromètres, pour les températures élevées, comme nous le dirons en parlant de la mesure du calorique. On donne, en général, le nom de fusion à ce phénomène, et l'on nomme *terme de fusion* le degré du thermomètre ou du pyromètre auquel le corps devient liquide.

On reconnaissait autrefois un assez grand nombre de corps, que l'on regardait comme infusibles ou *apyres;* mais depuis l'invention du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, on ne connaît presque plus de ces sortes de corps.

Lorsqu'on échauffe peu-à-peu un corps solide, il commence par se dilater progressivement suivant les lois que nous avons indiquées, et chaque addition de calorique devient sensible et mesurable au moyen du thermomètre; mais lorsqu'on arrive au terme de fusion, le corps devient liquide, non dans toute sa masse à-la-fois, mais portion par portion; en sorte que chaque addition de calorique liquéfie une partie du corps. Si, durant ce temps, on observe avec un thermomètre la température du corps qui se fond, on voit qu'elle reste la même malgré les additions évidentes de calorique. La glace est très-propre à répéter ces expériences et à faire connaître les lois de la liquéfaction.

Si l'on place, dans une chambre dont l'atmosphère est à 10°, une masse de glace pilée, ou de neige, dont la température est 0°, et qu'on y plonge un thermomètre, on verra cette glace se fondre peu-à-peu, en absorbant le calorique des corps environnans, sans que le thermomètre s'élève; il sera même encore à 0° lorsque la totalité de la glace sera devenue liquide. Black a fait le premier cette remarque intéressante, et en a conclu que le calorique absorbé par la glace entrait en combinaison avec elle pour former l'eau liquide, et lui a donné le nom de *calorique latent* ou de *calorique combiné*. Il a cherché à mesurer la quantité de ce calorique, qui se combine pour former l'eau liquide en cessant d'être sensible au thermomètre, et il y a réussi par l'expérience suivante : Si l'on prend un kilogr. d'eau liquide à 0° et un kilogr. d'eau à 77°, et qu'on les mêle rapidement, on obtiendra une masse de 2 kilogr. d'eau qui se trouvera à 38°5; c'est-à-dire, que la température du mélange sera précisément la moyenne arithmétique entre les deux températures primitives, et que les 77° de température qui appartenaient à l'un des deux kilogr. d'eau se seront uniformément répandus dans les deux kilogr. Mais si l'on prend un kilogr. d'eau solide, ou de glace, à 0°, et un kilogr. d'eau à 77°, en les mêlant ensemble la glace fondra peu-à-peu, et on obtiendra 2 kilogr. d'eau liquide à 0°; c'est-à-dire, que les 77° de température auront disparu complètement pour fondre un kilog. de glace. D'où l'on peut conclure que la glace, en se fondant, absorbe ou rend *latent* autant de calorique qu'il en faut pour élever le même poids d'eau liquide à 77°.

Un phénomène du même ordre a lieu pour tous les corps solides qui se liquéfient; seulement la quantité de calorique absorbé est différente pour chacun d'eux, et en général beaucoup moindre que pour l'eau. Nous verrons ces résultats confirmés par les phénomènes de solidification.

Les conséquences des principes que nous venons d'établir sont extrêmement multipliées et intéressantes. On peut remarquer, par exemple, que si la fusion de la glace n'exigeait pas une grande addition de calorique, à l'instant même où, dans la succession des saisons et après de fortes gelées, la température se trouverait au-dessus de 0°, toutes les neiges et toutes les glaces accumulées pendant l'hiver se fondraient rapidement et produiraient d'énormes inondations. Nous ferons observer aussi, qu'en conséquence des mêmes principes il n'est pas indifférent d'appliquer sur une partie du corps que l'on a intérêt à refroidir, de l'eau liquide à 0°, ou de la glace à la même température; car l'eau liquide enlevera à cette partie du corps assez de calorique pour se mettre à la même température; mais l'action ira en diminuant à mesure que l'eau s'échauffera, tandis que la glace enlevera une quantité de calorique capable de porter de l'eau liquide à 77°, sans pourtant cesser d'être à 0°. On a trouvé dans ce moyen une grande ressource thérapeutique, particulièrement dans les maladies du cerveau, et l'on a coutume d'appliquer la glace contenue dans une vessie, pour éviter l'écoulement de l'eau qui se forme.

Nous donnons ici une Table des degrés de température auxquels beaucoup de solides se fondent; on concevra la valeur des indications des degrés du thermomètre et du pyromètre, en lisant le Chapitre sur la *mesure du calorique*.

Il est essentiel de remarquer que les termes de fusion sont aussi les termes de congélation ou de solidification, sauf quelques modifications qui seront indiquées dans l'article suivant. Cette Table est en partie extraite du Dictionnaire du docteur Ure; les degrés du thermomètre sont marqués *t*, ceux du pyromètre, *p*; les corps qui ne fondent qu'au chalumeau de Broock sont marqués *chal*.

Table des températures auxquelles différens corps passent de l'état liquide à l'état solide, ou de l'état solide à l'état liquide.

Ether sulfurique.		—43°,33 *t.*
Ammoniaque liquide.		—43,33 *t.*
Acide nitrique.	(Poids spécif. 1,424).	—43,33 *t.*
Acide sulfurique.	(Poids spécif. 1,6413).	—42,77 *t.*
Mercure.		—39,44 *t.*
Acide nitrique.	(Poids spécif. 1,407).	—34,50 *t.*
Acide sulfurique.	(Poids spécif. 1,8064).	—32,22 *t.*
Acide nitrique.	(Poids spécif. 1,3880).	—27,83 *t.*
Id.	(Poids spécif. 1,3290).	—19,66 *t.*
Id.	(Poids spécif. 1,2583).	—27,65 *t.*
Eau-de-vie.		—21,66 *t.*
Acide sulfurique.	(Poids spécif. 1,8376).	—17,22 *t.*
Acide prussique pur.		de—15,55 à—15 *t.*
Sel commun.	(25 + Eau 75).	—15,55 *t.*
Id.	(22,2 + *Id.* 77,8).	—13,77 *t.*
Muriate d'ammoniaque.	(20 + *Id.* 80).	—13,33 *t.*
Sel commun.	(10 + *Id.* 90).	—12,50 *t.*
Id.	(16,1 + *Id.* 83,9).	—10,27 *t.*
Huile de térébenthine.		—10,00 *t.*
Vins forts.		— 6,66 *t.*
Tartrate de potasse et de soude.	(50 + Eau 50).	— 6,11 *t.*
Huile de bergamote.		— 5,00 *t.*
Sang.		— 3,89 *t.*
Sel commun.	(6,25 + Eau 93,75).	— 3,66 *t.*
Nitre.	(12,50 + *Id.* 87,50).	— 3,33 *t.*
Sel commun.	(4,16 + *Id.* 95,84).	— 2,50 *t.*
Couperose.	(4,16 + *Id.* 58,4).	— 2,22 *t.*
Vinaigre.		— 2,22 *t.*
Sulfate de zinc.	(53,3 + Eau 46,7).	— 2,50 *t.*
Lait.		— 1,11 *t.*
Eau.		— 0,00 *t.*
Huile d'olive.		+ 2,22 *t.*
Soufre et phosphore.	(Parties égales).	4,44 *t.*
Acide sulfurique.	(Poids spécif. 1,741).	5,56 *t.*
Id.	(*Id.* 1,780).	7,78 *t.*

Huile d'anis.		10,00 *t.*
Acide acétique concentré.		10,00 *t.*
Suif.	(Docteur Thomson).	33,33 *t.*
Phosphore.		42,22 *t.*
Stéarine provenant de graisse de porc.		43,78 *t.*
Spermaceti.		44,44 *t.*
Suif.	(Nicholson).	52,78 *t.*
Acide margarique.		56,67 *t.*
Potassium.		56,88 *t.*
Cire jaune.		61,11 *t.*
Id. Id.		65,00 *t.*
Cire blanche.		68,33 *t.*
Sodium.		90,00 *t.*
Soufre.	(Docteur Thomson).	103,33 *t.*
Id.	(Docteur Hope).	112,22 *t.*
Étain.		227,77 *t.*
Bismuth.		+ 246,66 *t.*
Plomb.		322,22 *t.*
Zinc.	(Suivant sir H. Davy).	360,00 *t.*
Id.	(Suiv. M. Brongniart).	370,00 *t.*
Antimoine.		431,66? *t.*
Argent.		20° *p.*
Cuivre.		27 *p.*
Or.		32 *p.*
Cobalt.		120 *p.*
Fer.		130 *p.*
Nickel.		160 *p.*
Manganèse.		160 *p.*
Platine.		*chal.*
Tungstène.		*chal.*
Molybdène.		*chal.*
Titane.		*chal.*
Urane.		*chal.*
Chrôme.		*chal.*
Colombium.		*chal.*
Rhodium.		*chal.*
Iridium.		*chal.*
Osmium.		*chal.*
Cerium.		*chal.*

272. *De la solidification des liquides.* — Presque tous les liquides que nous connaissons peuvent passer à l'état solide par l'abaissement de la température ou par une soustraction suffisante de calorique ; mais parmi les liquides en général, il faut distinguer ceux qui, comme l'éther, l'alcool, le mercure et ordinairement l'eau, présentent cet état aux températures ordinaires de l'atmosphère, et ceux qui ne se forment qu'à des températures élevées, naturelles ou artificielles, comme les métaux fondus. Lorsque les premiers prennent l'état solide, on donne à ce phénomène le nom de *congélation*. Lorsque les seconds reprennent l'état solide qui leur est ordinaire, on dit qu'ils se *figent* ou se *solidifient*.

On conçoit facilement que les liquides qui deviennent solides doivent présenter des phénomènes inverses de ceux que présentent les solides qui se liquéfient, et que ces deux états différens doivent se succéder précisément à la même température ; en sorte, par exemple, que la glace commence à se fondre à 0°, comme l'eau commence à se geler à 0°. Cependant il y a des circonstances dans lesquelles un corps liquide peut être refroidi au-dessous de la température où il commencerait à fondre s'il était solide, sans pour cela se congeler ou se figer. L'eau présente sous ce rapport des phénomènes remarquables que nous allons indiquer.

Si l'on place dans une chambre dont la température soit à 6° au-dessous de zéro, une masse d'eau très-claire et privée d'air, et qu'on la laisse dans un repos absolu, cette eau se refroidira peu-à-peu jusqu'à la température de la chambre, sans qu'il se forme cependant aucune quantité de glace. Mais si l'on vient à faire vibrer le vase de verre qui contient l'eau, ou à ébranler la table qui le supporte, il se formera tout-à-coup une certaine quantité de glace, et l'eau liquide se trouvera tout-à-coup

portée à la température de 0°. M. Gay-Lussac a même réussi, en couvrant l'eau d'une couche d'huile, à la refroidir jusqu'à 11° au dessous de zéro sans qu'elle se gèle. Au reste, l'eau trouble, ou qui contient de l'air, ou qui est agitée, commence toujours à se geler au terme propre de la congélation, qui est le 0° du thermomètre centigrade. Beaucoup d'autres corps partagent cette propriété, qui semble avoir quelque rapport avec les états électriques des particules auxquels on est maintenant porté à attribuer les phénomènes de cristallisation.

L'expérience que nous venons de citer peut servir à prouver que si la glace absorbe, pour se fondre en eau liquide, 77° de chaleur, l'eau liquide, en devenant glace, perd ou laisse dégager une égale quantité de calorique. On a, en effet, remarqué qu'en abaissant la température de l'eau à 5°,5 au-dessous de zéro, il se formait environ $\frac{1}{14}$ de glace dans la masse d'eau, et qu'en même temps toute la masse d'eau se réchauffait depuis — 5°,5 jusqu'à 0°; ce qui suppose que de $\frac{1}{14}$ de glace il s'est dégagé assez de calorique pour échauffer l'eau de 5°,5. Or, 14 fois 5°,5 donnent en effet 77°.

Cette propriété de l'eau liquide, d'exiger une grande soustraction de calorique pour passer à l'état solide, explique beaucoup de phénomènes naturels. S'il en était autrement, nos lacs, nos rivières, et toutes les eaux qui nous environnent se prendraient subitement en masses solides, aussitôt que la température se trouverait au-dessous de zéro; tandis qu'au contraire il ne se forme d'abord qu'une petite pellicule de glace, qui commence toujours par la face supérieure des liquides, parce que l'eau à 0°, est plus légère que de l'eau à 4°,5, cette pellicule va croissant peu-à-peu quand le froid persiste, jusqu'à ce qu'enfin les rivières se prennent, ce qui n'arrive guères en France que par un froid de — 10°.

L'eau qui se gèle offre encore un phénomène mécanique remarquable : elle augmente de volume de près de $\frac{1}{10}$ c'est-à-dire, de plus du double de la dilatation qu'elle éprouve en s'échauffant de 0° à 100°. On attribue cette dilatation à la force de cristallisation qui tend à arranger les molécules de l'eau de manière à former des prismes qui se croisent sous des angles de 120° et 60°, disposition qui comporte nécessairement des vides qui n'existaient pas dans l'eau liquide. Cet accroissement de volume de la glace se fait avec une force extrêmement considérable; car les académiciens de Florence ont fait crever, par la congélation de l'eau, une boule d'or dont la résistance pouvait être évaluée à 10,000 kilog., et nous voyons tous les jours des vases très-solides et même des masses de pierre considérables se briser par la congélation de l'eau qu'ils contiennent dans leur capacité ou qui s'est infiltrée dans leur intérieur.

Une circonstance bien remarquable pour les chimistes, et que nous devons noter ici, c'est que les corps solides peuvent devenir liquides, ou réciproquement, par d'autres causes que des additions ou des soustractions de calorique, et, par exemple, en vertu des affinités chimiques. C'est ainsi que la glace mêlée à un sel déliquescent se fond, et que l'eau liquide jetée sur de la chaux vive se solidifie : dans le premier cas, le mélange manque du calorique nécessaire pour constituer de l'eau liquide; il en enlève aux corps voisins, et sa température paraît extrêmement basse; dans le second cas, au contraire, l'eau devenant solide par son affinité pour la chaux, laisse dégager tout le calorique qui lui était combiné, et il se produit une température très-élevée.

DE LA CONVERSION DES LIQUIDES EN VAPEURS.

273. Un très-grand nombre de corps naturels paraissent susceptibles de passer à l'état de vapeur par l'addition d'une quantité suffisante de calorique. La plupart de ceux qui sont ordinairement solides commencent par devenir liquides avant de se vaporiser; cependant il existe à cette règle un assez grand nombre d'exceptions, en sorte que des corps solides peuvent passer tout-à-coup à l'état gazeux: tel est l'arsenic, qui est par conséquent plus volatil que fusible.

Les corps qui sont liquides aux températures ordinaires, comme l'eau, l'alcool, etc., sont susceptibles de se réduire en vapeurs dans des cas et avec des circonstances fort analogues à ce qui arrive quand un corps solide devient liquide; c'est-à-dire, que chacun de ces corps se réduit en vapeur à une température fixe; que cette réduction en vapeur s'opère successivement à mesure qu'on ajoute de nouvelles quantités de calorique; que le corps ne s'échauffe plus aussitôt qu'il commence à se vaporiser, et qu'enfin la vapeur formée est à la même température que le liquide d'où elle émane.

Les corps qui se réduisent en vapeur, prenant tout-à-coup un volume infiniment plus considérable que leur volume primitif, et pouvant se mêler avec les fluides élastiques qui constituent l'atmosphère, il en résulte que cette atmosphère, ou toute autre pression extérieure, exerce une très-grande influence sur ce changement d'état, tandis qu'elle n'en exerce aucune sur la liquéfaction ou la solidification.

On peut remarquer que les liquides ont évidemment deux manières de se réduire en vapeur; car si on abandonne de l'eau à elle-même dans un vase ouvert, on la voit

diminuer de quantité sans aucune agitation de sa masse; mais si l'on place cette eau sur un foyer, elle se convertit rapidement en vapeur avec une grande agitation. Le premier phénomène peut être désigné par le nom d'*évaporation spontanée* ou de *vaporisation;* le second porte le nom d'*ébullition.* Quelques physiciens ont adopté le mot *évaporation* pour exprimer la réduction en vapeur sous la pression atmosphérique et sans ébullition; tandis qu'ils nomment *vaporisation* la conversion d'un liquide en vapeur par ébullition ou dans le vide.

274. *De l'ébullition.* — L'ébullition des liquides est un phénomène trop vulgaire pour avoir besoin d'être décrit; mais il est important de remarquer qu'il est soumis à trois influences: 1°. la cohésion des liquides; 2°. la force expansive du calorique; 3°. la pression extérieure.

La pression atmosphérique étant à-peu-près constante dans les cas ordinaires d'expérience, les différens liquides bouillent à différentes températures, qui paraissent dépendre uniquement du plus ou du moins de cohésion de leurs particules. Ainsi

L'éther bout à.	36
Le sulfure de carbone à.	46
L'alcool à.	78
L'eau à.	100
Dissolution saturée de sulfate de soude à. . .	100°,79
Dissolution saturée de sel marin à.	106,85
Muriate de chaux. (40,5 + Eau 59,5) à. . . .	115,55
Huile de térébenthine rectifiée à.	157
Le phosphore à.	290
Le soufre à.	299
L'huile de lin à.	316
L'acide sulfurique (P. s. 1,849) à.	318
Le mercure à.	347

On voit que s'il n'y a pas un rapport exact entre le poids spécifique et le terme d'ébullition, il y a du moins une assez grande analogie, et nous connaissons trop peu la liaison de la densité avec la cohésion proprement dite, pour que les différences nous autorisent à supposer d'autres causes.

Ce qui confirme l'opinion que la cohésion détermine le point d'ébullition sous une pression donnée, c'est que toutes les causes qui peuvent augmenter cette cohésion élèvent aussi le terme de l'ébullition. En effet, lorsque l'eau pure bout à 100° sous la pression barométrique $0^m,760$, elle ne bouillira qu'à une température plus élevée si elle contient des sels en dissolution; et parmi ceux-ci, les sels déliquescens qui ont beaucoup d'affinité pour l'eau, élèveront beaucoup son terme d'ébullition, tandis que les sels efflorescens qui ont fort peu d'affinité pour ce liquide, n'élèveront pas sensiblement le degré auquel l'eau se réduit en vapeur.

Une autre observation de M. Gay-Lussac semble devoir s'expliquer par les mêmes effets de cohésion. Lorsque l'eau bout à 100° dans un vase de métal, elle ne bout qu'à 101°,25 dans un vase de verre; et lorsque cette eau a cessé de bouillir dans le vase de verre, on rétablit l'ébullition en y jetant un peu de limaille de fer. Il faut cependant convenir que les effets divers de ce genre, que produisent les différens métaux comparés, sont peu d'accord avec l'idée d'une adhérence particulière du liquide au vase.

Les corps aigus ont la singulière propriété de déterminer vers leurs pointes la formation des bulles de vapeur qui constituent l'ébullition du liquide; et comme il arrive souvent dans l'évaporation des liquides, comme l'acide sulfurique, dans les vases de verre, des soubresauts qui brisent les vases et qui sont dus à une suspension momentanée de la

production des vapeurs qui se forment ensuite en plus grande quantité, on obvie à cet inconvénient en plaçant dans le fond du vase quelques fragmens aigus de verre, ou mieux une petite spirale de platine.

Il est fort important de déterminer si, dans la conversion des liquides en vapeur, il se fait une combinaison de calorique semblable à celle qui a lieu dans la liquéfaction des solides; c'est en effet ce qui a été démontré par Black et Watt. En effet, si l'on place sur un fer chaud, dont la température ne varie pas sensiblement pendant l'expérience, un petit vase d'étain contenant de l'eau à 10°, par exemple, et si cette eau arrive en 4 minutes à la température de 100°, il faudra en conclure que cette eau reçoit du fer chaud 22°,5 de calorique par minute. Cependant lorsque l'eau a acquis ces 100° de chaleur, sa température ne s'élève plus; mais elle bout et se réduit en vapeur. Dans le cas supposé sa réduction totale en vapeur exige vingt minutes, et par conséquent la vapeur emporte 20 fois 22°,5 ou 450 degrés de chaleur; et si néanmoins on examine la température de cette vapeur, on trouve qu'elle est précisément égale à celle de l'eau qui la produit.

On est, du reste, parvenu, par une marche inverse que nous indiquerons bientôt, à prouver qu'une certaine quantité de vapeur est capable d'élever 4,66 son poids d'eau de 0° à 100°; d'où l'on peut conclure avec Black que tout ce calorique était à l'état de *calorique latent* en *combinaison* avec l'eau pour constituer la vapeur. Nous ferons seulement remarquer ici que ces phénomènes importans, aussi bien que ceux qui surviennent dans la liquéfaction, peuvent s'expliquer par la seule supposition d'une grande différence de capacité calorique entre les solides, les liquides et les fluides élastiques, ainsi que nous le dirons dans un article suivant.

La connaissance positive de la quantité de calorique

étant d'une grande importance, et ayant été le sujet de beaucoup de recherches modernes dont les résultats ne sont pas exactement d'accord entr'eux, nous indiquerons les principaux.

La chaleur latente de la vapeur d'eau ou la quantité d'eau à zéro que 100 parties de vapeur peuvent élever à 100 degrés, est, suivant M. de Rumfort, 567; suivant M. Gay-Lussac, 550; suivant MM. Clément et Désorme, 550; suivant M. Despretz, tantôt 531, tantôt 540. Il est très-probable que le véritable nombre est 550.

Les vapeurs formées par l'ébullition des liquides peuvent être recueillies et contenues dans des vases pour être étudiées dans leurs diverses propriétés, ainsi que nous le verrons dans l'article suivant.

Nous avons supposé jusqu'ici que l'ébullition des liquides avait lieu sous la pression atmosphérique moyenne de $0^m,760$; mais les variétés de pression influent considérablement sur la température nécessaire pour produire l'ébullition d'un liquide. Dans un même lieu, l'eau bout à une moindre température lorsque le baromètre est bas que lorsqu'il est élevé. L'ébullition de l'eau n'exige pas, à beaucoup près, 100° sur le haut d'une montagne, elle en exige davantage dans la profondeur des mines.

Si l'on enferme une certaine quantité d'eau dans un vase solide en fer ou en cuivre, qui porte communément le nom de *marmite de Papin*, on pourra chauffer ce vase presque jusqu'à la température rouge, sans qu'il se forme de vapeur, ou du moins sans qu'elle puisse s'échapper au-dehors. Il s'en forme pourtant dans l'espace vide de la machine; mais elle s'y comprime et acquiert par l'élévation de température une énorme force élastique : aussi, dès qu'on lui donne issue en desserrant les vis qui maintiennent le couvercle de l'appareil, ou en ouvrant une soupape de sûreté dont il est muni, cette vapeur s'échappe avec une grande

violence à travers l'atmosphère et malgré sa pression. On a profité de cette force expansive de la vapeur pour en obtenir des effets mécaniques très-importans.

Si, au lieu d'augmenter la pression que l'atmosphère exerce naturellement sur les liquides, on la diminue, ils deviennent capables de bouillir à des températures beaucoup plus basses. Si, par exemple, on place dans le vide de la machine pneumatique de l'eau à 31°, ou de l'alcool à 9°, ces liquides entrent aussitôt en ébullition, comme s'ils étaient chauffés à 100° et à 78° sous la pression atmosphérique. Il paraît même résulter, des expériences de Robison, que tous les liquides bouillent dans le vide à une température de 69° plus basse que sous la pression atmosphérique.

Sans anticiper sur ce que nous venons de dire à l'article de la constitution des vapeurs, nous devons faire remarquer ici, que, dans le cas d'ébullition à l'air libre, la vapeur d'eau qui se forme au fond du vase doit nécessairement, pour se développer, soulever la masse liquide qui est elle-même pressée du poids de l'atmosphère, et que l'on a coutume de dire, en conséquence, que le terme de l'ébullition arrive à la température où la force élastique de la vapeur est capable de surmonter la pression atmosphérique. Il faut cependant remarquer qu'il existe aussi un certain terme d'ébullition dans le vide où il n'existe pas de pression atmosphérique, et que ce terme d'ébullition est différent pour chaque liquide; en sorte que de l'eau à 20° ne peut pas bouillir dans le vide; qu'elle y bout très-bien à 32°; tandis que l'alcool bout dans le vide à 9°, et l'éther à toutes les températures. Il faut nécessairement que, dans le cas que nous venons de citer, le terme de l'ébullition soit déterminé par autre chose que la pression atmosphérique : on pourrait l'attribuer à ce que nous avons nommé ténacité, c'est-à-dire, à la puissance plus ou moins consi-

dérable qui est nécessaire pour séparer les molécules liquides les unes des autres.

275. *De l'évaporation spontanée.* — Les liquides et même les solides peuvent se convertir en vapeur sans ébullition. Cette vapeur se forme alors à la surface du corps et se mêle peu-à-peu avec les fluides élastiques environnans, ou se répand dans l'espace vide au milieu duquel le corps peut se trouver placé. On conçoit que ce mode de conversion en vapeur n'est pas soumis à l'influence de la pression atmosphérique; car les molécules de vapeur peuvent s'échapper dans l'intervalle des molécules gazeuses qui pressent le liquide, sans avoir besoin de soulever la masse atmosphérique : aussi remarque-t-on que l'évaporation spontanée a lieu de la même manière dans l'air, dans tous les gaz et même dans le vide. La quantité de vapeur qui se forme dans un temps donné dépend directement de la température; la formation de cette vapeur s'arrête lorsque l'espace environnant est rempli de la vapeur qui peut se former à la température où se trouve cet espace. L'action de l'air ou du gaz sur le liquide est tout-à-fait nulle; elle ne produit d'autre effet que de ralentir le dégagement de la vapeur, car il se forme autant de vapeur dans un espace vide que dans un espace plein de gaz. La force élastique de la vapeur qui se forme est toujours proportionnelle à la température; chaque corps produit, de cette manière, des quantités différentes de vapeurs, suivant sa nature particulière et probablement en raison inverse de sa cohésion. (*Voy.* ci-après, l'article *Vapeurs.*) Enfin, les vapeurs qui se forment dans ces différentes circonstances emportent autant de calorique latent que celles qui se forment par ébullition.

276. *Conversion des vapeurs en liquides.* — Lorsqu'un corps a été réduit en vapeur, trois sortes de causes peuvent déterminer son retour à l'état liquide : 1°. l'abaisse

ment de la température ou la soustraction du calorique; 2°. une augmentation de pression; 3°. l'affinité d'un autre corps pour la vapeur condensée.

Il est nécessaire d'enlever beaucoup de calorique à une vapeur pour la faire passer à l'état liquide; et si on la refroidit peu-à-peu, elle se condensera aussi par portions successives; ce qui tient à la grande quantité de calorique latent dont nous avons parlé.

Il est très-facile d'obtenir la condensation complète d'une vapeur, en la forçant de passer à travers une certaine quantité de liquide froid. On s'est servi de cette méthode pour mesurer la quantité de calorique latent contenue dans la vapeur d'eau : on a reconnu que 100 parties d'eau en vapeur peuvent élever à 100° degrés de température 450 parties d'eau à 0°; et comme les 100 parties de vapeurs passent elles-mêmes à l'état liquide et se trouvent aussi à 100°, on obtient 550 parties d'eau liquide à cette température.

L'augmentation de la pression extérieure ne devrait jamais produire la condensation de la vapeur, puisque, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, la température devrait s'élever par la diminution de volume; mais comme les vapeurs sont contenues dans des vases qui absorbent rapidement le calorique qui peut s'en dégager, il arrive ordinairement que la vapeur se condense précisément en proportion de la pression qu'elle éprouve.

Les affinités chimiques ont une grande influence sur la condensation des vapeurs. C'est ainsi que les corps hygrométriques s'emparent de la vapeur d'eau contenue dans l'air. Mais l'exemple le plus frappant de ce genre de phénomène est sans contredit l'expérience de Leslie, dans laquelle de l'eau et de l'acide sulfurique concentré étant enfermés dans un récipient vide d'air, l'acide sulfurique absorbe sans cesse la vapeur d'eau qui se forme; en sorte

que l'eau, refroidie par la soustraction du calorique qu'emporte la vapeur, finit par se geler, tandis que l'acide sulfurique s'échauffe de tout le calorique latent déposé par la vapeur absorbée.

DES VAPEURS.

277. Nous avons vu que tous les liquides, et peut-être même tous les corps solides, étaient susceptibles de se réduire en vapeur, soit par ébullition, soit par évaporation spontanée. Le genre de fluide élastique qui en résulte est d'une trop haute importance dans la nature en général, dans la plupart des arts, et surtout en physiologie générale, pour que nous n'en traitions pas d'une manière toute spéciale.

Pour bien concevoir la théorie des vapeurs, il est nécessaire de les considérer d'abord dans le vide, et d'étudier leur formation, leur tension, leur poids spécifique, les effets qu'elles éprouvent des hautes pressions, et l'application de leur puissance aux arts. Il ne sera pas moins nécessaire de les considérer ensuite dans leur mélange avec les gaz, et particulièrement avec l'air atmosphérique, en déduisant, des phénomènes qu'elles présentent alors, l'explication de quelques circonstances météorologiques.

278. *Des vapeurs dans le vide.* — Si l'on fait le vide le plus complet possible, à un millimètre près, par exemple, dans un ballon parfaitement sec, et qu'à l'aide d'un double robinet on introduise dans ce ballon une quantité d'eau suffisante pour qu'il en reste un peu à l'état liquide dans le fond du vase, sans y laisser pénétrer l'air, on verra tout-à-coup la colonne de mercure de l'éprouvette s'élever de plusieurs millimètres, c'est-à-dire qu'il se sera formé dans le ballon un fluide élastique qui pourra soutenir cette

colonne de mercure. Ce fluide ne saurait être autre chose que de la vapeur d'eau. Et, en effet, si l'on vient à faire communiquer le ballon avec un autre vase vide d'air et contenant du chlorure de calcium, la pression cessera peu-à peu, et l'on trouvera que le chlorure de calcium a absorbé de l'eau.

Ayant ainsi démontré le fait de la formation de la vapeur, il faut en rechercher les lois.

a. Un excès quelconque de liquide introduit dans le vase n'augmente point la force élastique. Ainsi le développement de la vapeur s'arrête à un certain terme qui est indépendant de la quantité du liquide.

b. La pression exercée par un même liquide, à la même température, est exactement semblable dans un grand et dans un petit vase, pourvu qu'on ait ajouté un petit excès du liquide, ce qui démontre qu'il se forme toujours une quantité de vapeur proportionnelle à l'espace dans lequel elle peut s'étendre.

c. En introduisant dans un même vase vide, et à la même température, des liquides différens, les hauteurs de la colonne de mercure seront différentes pour chaque liquide, ce qui prouve que la force élastique des vapeurs dépend de la nature du liquide. En général, ceux qui bouillent à la plus basse température donnent, toutes choses égales d'ailleurs, des pressions plus considérables.

d. Si l'on introduit le même liquide dans le même vase à des températures différentes, les pressions croîtront avec les températures. Ainsi, en employant de l'eau à 18°,75, la vapeur soutiendra 0^m014 de mercure; à 100° la vapeur en soutiendra 0^m762. Il est facile de voir que la force élastique des vapeurs qui sont en contact avec un excès de liquide qui les forme, croît avec les températures dans une progression beaucoup plus rapide que dans les gaz ou dans les vapeurs isolées. Car un gaz, ayant à 0° une force élas-

tique représentée par 1, aura, sous le même volume, à 100°, une force élastique représentée par 1,375, c'est-à-dire à-peu-près un tiers plus énergique; tandis que pour l'eau, par exemple, la différence de force élastique sera de 1 à 150.

On donne le nom de *tension des vapeurs* à cette force élastique variable par les circonstances indiquées. Cette expression est préférable à celle d'élasticité, attendu que ce n'est pas seulement ici la vapeur qui agit, mais l'excès de liquide lui-même qui *tend* à se vaporiser; en sorte que, si l'on enlevait la vapeur existante, il s'en formerait immédiatement de nouvelle, qui aurait la même force élastique.

En résumant ce que nous venons dire, on voit que tous les liquides tendent à se réduire en vapeur dans un espace vide; que la formation de la vapeur s'arrête quand l'espace en est rempli, ou que la quantité de vapeur est proportionnelle à l'espace; qu'elle est aussi proportionnelle à la température; enfin, que les liquides qui bouillent à la plus basse température sont aussi ceux qui forment le plus de vapeur dans des circonstances données.

La formation des vapeurs étant limitée par la réplétion du vase qui les entoure, et n'étant que modifiée par la nature des corps ou par la température, il est évident que l'on pourra toujours évaporer complètement un liquide, soit en enlevant continuellement la vapeur par un moyen mécanique, soit en l'absorbant par un moyen chimique.

279. *De la tension des vapeurs.* — La détermination exacte de la tension des vapeurs à différentes températures et pour différens liquides, étant d'un très-haut intérêt soit pour la théorie, soit pour les applications aux arts, MM. Southern, Robison, Dalton, Ure, Gay-Lussac, Despretz, etc., s'en sont successivement occupés.

On a perfectionné la méthode de l'introduction d'un liquide dans un vase vide, en se servant d'un manomètre

muni d'un baromètre entier, afin d'apprécier tous les degrés de tension. M. Dulong a même imaginé de placer le liquide dans un vase à part, que l'on fait communiquer à volonté avec le manomètre. Mais une méthode bien préférable pour l'exactitude et la simplicité, est celle qu'ont employée MM. Dalton et Gay-Lussac, et que le docteur Ure a perfectionnée.

Si l'on prend un tube de baromètre rempli de mercure bien purgé d'air, et qu'à travers ce mercure on introduise dans le vide barométrique un petit excès du liquide dont on veut essayer la tension, on verra la colonne barométrique s'abaisser d'une quantité qui sera l'expression exacte de la tension de la vapeur formée.

On peut constater ainsi, à l'aide de plusieurs tubes barométriques placés l'un à côté de l'autre, les différentes tensions de l'eau, de l'alcool, de l'éther, etc., à la température de l'atmosphère.

Pour observer cette tension à des températures plus hautes ou plus basses, on peut envelopper la partie supérieure du tube barométrique d'un autre vase dans lequel on place des mélanges réfrigérans ou des liquides plus ou moins échauffés. Mais avec cet appareil le volume de la vapeur augmente rapidement, et l'on ne peut plus faire d'observation, passé 100° pour l'eau, parce qu'alors il ne reste plus de mercure dans le baromètre. Le docteur Ure l'a perfectionné d'une manière très-remarquable par les moyens suivans :

L'appareil consiste (*fig.* 119) en un baromètre à siphon B C D, dont la branche B C contient le mercure, tandis que la branche C D, très-haute et terminée par un entonnoir, peut recevoir des quantités additionnelles de mercure, dans les cas que nous indiquerons tout-à-l'heure. On établit d'abord la marche de ce baromètre, comparativement à un autre baromètre ordinaire, en traçant vers

le point *b* une portion d'échelle. On fait passer dans la branche B C du baromètre une certaine quantité du liquide dont on veut trouver les tensions; on introduit ensuite le sommet B du baromètre, incliné en dehors, dans un ballon A et par une tubulure exactement fermée par un bouchon de liège; on remplit ce ballon d'une huile limpide que l'on peut chauffer à diverses températures, au moyen d'une ou plusieurs lampes à courant d'air. Cela posé, l'huile étant, par exemple, à 10°, le mercure s'arrêtera dans la branche C D à un certain point *b*, que l'on pourra marquer au moyen d'un petit cercle élastique de métal; ce niveau sera supérieur à celui du baromètre de comparaison, et donnera la tension du liquide à 10°. Le point *a* marqué par un petit cercle élastique détermine le volume du vide barométrique, on pourra verser peu-à-peu par l'extrémité D assez de mercure pour réduire la vapeur d'eau à 10° à ce volume primitif, et il y aura alors dans la branche C D une colonne de mercure au-dessus du point *b*, qui exprimera exactement la tension de la vapeur à 10°.

De la même manière, si l'on élève la température de l'huile dans le ballon jusqu'à 100°, la vapeur du liquide tendra à augmenter de volume; mais on pourra ajouter peu-à-peu du mercure dans la colonne C D, de manière à contenir cette vapeur dans les mêmes limites; et au moment où la température sera fixée à 100°, la hauteur du mercure au-dessus du point *b* exprimera la tension de la vapeur à cette température.

On obtiendra des résultats analogues pour les basses températures en plaçant dans le ballon des mélanges réfrigérans. Pour ce dernier cas, il ne serait pas même nécessaire que tout l'espace qui contient la vapeur fût refroidi; car, dans un espace quelconque, dont les différens points ne sont pas à la même température, la tension de la vapeur doit nécessairement être proportionnelle à la plus basse;

puisque les vapeurs formées dans les points les plus chauds devront nécessairement se condenser dans le point le plus froid.

Les méthodes que nous venons de décrire ne pouvant faire connaître les tensions des vapeurs à de très-hautes températures, M. Despretz a cherché un rapport entre le poids spécifique des vapeurs et leur tension. Pour faire ses expériences, il a mis un ballon à peser les gaz, parfaitement vide d'air, en communication avec le haut d'un tube barométrique contenant des vapeurs dont les tensions étaient déterminées par la hauteur même de la colonne barométrique au moment de l'expérience. Il a ensuite pesé avec exactitude le ballon rempli de cette vapeur, dont le volume était bien connu, ce qui, avec toutes les réductions convenables, lui donnait le poids spécifique des vapeurs sous les différentes tensions. Il a trouvé par cette méthode que le poids spécifique de la vapeur d'un liquide était toujours proportionnel à la tension. Il semblait que cette loi pût s'étendre par le calcul à toutes les températures ; mais les expériences de M. Cagnard de Latour sont venues prouver le contraire : en effet, ce physicien a démontré que l'alcool, par exemple, est susceptible de se réduire en vapeur dans un espace triple de son volume primitif; que cette vaporisation avait lieu à 207° degrés du thermomètre centigrade, et que la pression produite par la vapeur était alors égale à 119 atmosphères; tandis qu'en établissant cette pression dans le rapport des densités, elle devrait être de 224 atmosphères, c'est-à-dire presque double. On ne peut expliquer cette anomalie qu'en supposant que dans les vapeurs condensées, l'attraction de cohésion reprend un certain empire qu'elle perd complètement dans les vapeurs dilatées jusqu'à un certain point. Ce qui confirme cette supposition, c'est que dans ces hautes pressions la tension que conserve la vapeur est d'autant plus considérable,

relativement, qu'on lui permet d'occuper un plus grand espace.

Il est très-important de remarquer ici, que tout ce que nous avons dit sur la tension des vapeurs n'est applicable qu'à celles qui sont actuellement en contact avec le liquide qui les produit. En effet, si l'on prend une capacité quelconque remplie d'une vapeur sans excédant de liquide, elle se comportera précisément comme un gaz, à une seule exception près. Par exemple, si on l'échauffe, sa force élastique s'accroîtra dans le rapport de 0,00375 par degré centigrade; si on agrandit l'espace qui la contient, sa force élastique diminuera suivant la loi de Mariotte: mais si on la comprime ou qu'on la refroidisse, elle présentera des effets qui sont particuliers aux vapeurs. Si on la refroidit au-dessous de la température où elle peut exister avec une pression donnée, une partie de la vapeur reprendra l'état liquide, et tout le calorique latent que cette portion contenait se répandra dans le reste de la vapeur pour maintenir la température relative à la pression; en sorte que, dans des refroidissemens successifs et sous une pression constante, des portions de vapeur se condensent pendant que le reste conserve la même force élastique.

Si l'on comprime les vapeurs, il arrive un phénomène analogue au précédent, c'est-à-dire qu'une portion de la vapeur se condense en liquide; mais après cette condensation, la vapeur restante n'a pas plus d'élasticité qu'auparavant, en sorte que le moindre excès de pression suffit pour condenser tout un volume de vapeur. S'il existait, par exemple, un corps de pompe plein de vapeur d'eau, qui fût capable de supporter un piston chargé d'un poids de 100 livres, et qu'on ajoutât une seule livre de plus, la totalité de la vapeur serait réduite en liquide. Ce fait paraît contraire à la théorie que nous donnerons bientôt des capacités caloriques; car la vapeur devrait s'échauffer en se compri-

mant, et recouvrer, par cette élévation de température, le degré de force élastique nécessaire pour supporter la nouvelle pression. On explique cette anomalie, en disant que la masse des vases étant très-grande relativement à celle de la vapeur, leurs parois absorbent l'excès du calorique qui peut résulter de la compression.

Nous donnons ici un certain nombre de tables, qui nous paraissent toutes indispensables pour avoir une idée précise des forces élastiques des différentes vapeurs à diverses températures.

La première est le résultat des expériences de M. Dalton sur la vapeur d'eau, et à des températures qui différaient de 5°5, et qui s'étendaient de 0° à 100°. Les points intermédiaires et les degrés au-dessous de 0° et au-dessus de 100° ont été trouvés par le calcul, en observant qu'il y avait, d'un terme à l'autre, des différences qui présentaient une certaine progression dont la raison elle-même variait d'une certaine quantité. Il est facile de s'assurer, en comparant cette table avec des résultats d'expériences directes, qu'elle n'est vraiment exacte que de 0° à 100°. Par exemple, suivant M. Dalton, la tension de la vapeur d'eau à 110° est représentée par $1066^{mm},06$, tandis que, d'après Robison, elle est de $1130^{mm},30$. Il ne paraît pas même qu'on ait trouvé jusqu'ici de lois régulières, de formules approximatives, qui puissent servir à calculer la tension de la vapeur d'eau à des températures où l'on n'a pas fait d'expériences.

Les quatre tables suivantes, dressées par le docteur Ure, donnent les tensions des vapeurs de l'alcool, de l'éther sulfurique, de l'huile de pétrole et de l'huile de térébenthine; enfin, nous y avons joint, comme renseignement essentiel, les tableaux des expériences de M. Cagnard de Latour.

Forces élastiques de la vapeur d'eau évaluée en millimètres, d'après les expériences de M. Dalton, *pour chaque degré du thermomètre centigrade.* (Tableau tiré de l'ouvrage de M. Biot.)

DEGRÉS.	TENSION.	DEGRÉS.	TENSION.	DEGRÉS.	TENSION.	DEGRÉS.	TENSION.
—20	1,333	18	15,353	56	119,39	94	611,18
—19	1,429	19	16,288	57	125,31	95	634,27
—18	1,531	20	17,314	58	131,50	96	658,05
—17	1,638	21	18,317	59	137,94	97	682,59
—16	1,755	22	19,417	60	144,66	98	707,63
—15	1,879	23	20,577	61	151,70	99	733,56
—14	2,011	24	21,803	62	158,96	100	760,00
—13	2,152	25	23,090	63	166,56	101	787,27
—12	2,302	26	24,452	64	174,47	102	815,26
—11	2,461	27	25,881	65	182,71	103	843,98
—10	2,631	28	27,390	66	191,27	104	873,44
— 9	2,812	29	29,045	67	200,18	105	903,64
— 8	3,005	30	30,643	68	209,44	106	934,81
— 7	3,210	31	32,410	69	219,06	107	966,31
— 6	3,428	32	34,261	70	229,07	108	994,79
— 5	3,660	33	36,188	71	239,45	109	1032,04
— 4	3,907	34	38,254	72	250,23	110	1066,06
— 3	4,170	35	40,404	73	261,43	111	1100,87
— 2	4,448	36	42,743	74	273,03	112	1136,43
— 1	4,745	37	45,038	75	285,07	113	1172,78
0	5,059	38	47,579	76	297,57	114	1209,90
1	5,393	39	50,147	77	310,49	115	1247,81
2	5,748	40	52,998	78	323,89	116	1286,51
3	6,123	41	55,773	79	337,76	117	1325,98
4	6,523	42	58,792	80	352,08	118	1366,22
5	6,947	43	61,958	81	367,00	119	1407,24
6	7,396	44	65,627	82	382,38	120	1448,83
7	7,871	45	68,751	83	398,28	121	1491,58
8	8,375	46	72,393	84	414,73	122	1534,89
9	8,909	47	76,205	85	431,71	123	1578,96
10	9,475	48	80,195	86	449,26	124	1623,67
11	10,074	49	84,370	87	467,38	125	1669,31
12	10,707	50	88,742	88	486,09	126	1715,58
13	11,378	51	93,301	89	505,38	127	176[illegible],56
14	12,087	52	98,075	90	525,28	128	1810,25
15	12,837	53	103,06	91	545,80	129	1858,63
16	13,630	54	108,27	92	566,95	130	1907,67
17	14,468	55	113,71	93	588,74		

ALCOOL, PESANTEUR SPÉCIFIQUE de 0,813.		ALCOOL, PESANTEUR SPÉCIFIQUE de 0,813.	
TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.
	millimètres.		millimètres.
0°	10,16	82°,22	882,14
4,44	14,22	83,33	924,56
7,22	17,70		mètres.
10	21,84	85,17	1,013
12,78	25,40	87,78	1,097
15,56	31,24	89,44	1,183
18,33	37,84	91,11	1,272
21,11	44,70	93,33	1,346
23,89	53,34	96,67	1,526
26,67	62,23	98,89	1,651
29,44	74,42	101,11	1,751
32,22	86,36	102,22	1,853
35	99,06	104,44	1,993
37,78	114,30	107,22	2,222
40,56	132,08	110	2,390
43,33	152,40	111,11	2,466
46,11	180,34	113,33	2,651
48,89	205,74	114,44	2,715
51,67	234,95	115,55	2,825
54,44	269,24	117,77	3,002
57,22	308,61	118,33	3,102
60	353,06	120	3,202
62,78	405,13	120,94	3,337
65,56	457,20	121,11	3,300
68,33	515,62	122,22	3,520
71,11	574,04	123 51	3,649
73,89	645,16	125,88	3,830
76,67	718,82	126,66	3,942
78,33	762	127,77	4,099
81,11	850,90	128,88	4,218

ÉTHER SULFURIQUE.		ÉTHER SULFURIQUE.	
TEMPÉRATURE. centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.
	millimètres.		mètres.
1°,11	162,56	60°	1,445
6,66	205,74	62,78	1,577
12,22	261,62	65,56	1,717
17,78	330.20	68,33	1,869
23,33	408.94	71,11	2,038
28,89	508	73,89	2,194
34,44	627,38	76,67	2,357
40	762	79,44	2,517
2d. Ether.		82,22	2,750
40,55	762	87	2,948
43,33	826,51	87,78	3,169
46,11	911,86	90,55	3,395
	mètres.	93,33	3,627
48,89	1,002	96,11	3,843
51,67	1,098	98,89	4,216
54,44	1,197		
57,62	1.318		

PÉTROLE.		PÉTROLE.	
TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.
	millimètres.		mètres.
157°,77	762	176°,66	1,190
160	805,18	179,44	1,279
162,77	863,60	182,22	1,353
165,55	924,56	185	1,445
168,33	988,06	187,77	1,541
	mètres.	188,88	1,572
171,11	1,053	190,55	1,625
173,88	1,121		

HUILE DE TÉRÉBENTHINE.		HUILE DE TÉRÉBENTHINE.	
TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.
	millimètres.		mètres.
151°,11	762	171°,11	1,143
153,11	828,04	172,77	1,191
154,44	850,90	175	1,262
157,22	894,08	178,66	1,313
160	941,32	178,88	1,346
161,11	960,12	180,22	1,437
	mètres.	182,22	1,544
163,33	1,021	183,33	1,585
165,55	1,069		

Premier Tableau des expériences faites sur l'Éther, *par* M. CAGNARD.

Volume à l'état liquide, 7 parties.	Volume à l'état de vapeur, 20 parties.			
Degrés de Réaumur.	Pressions atmosphériques.		Différence d'un résultat au résultat suivant.	
	Atmosph.	Dixièm.	Atmosph.	Dixièm.
80	5	6		
90	7	9	2	3
100	10	6	2	7
110	12	9	2	3
120	18	0	5	1
130	22	2	4	2
140	28	3	6	1
150	37	5	9	2
160	48	5	11	0
170	59	7	11	2
180	68	8	9	1
190	78	0	9	2
200	86	3	8	3
210	92	3	6	0
220	104	1	11	8
230	112	7	8	6
240	119	4	6	7
250	123	7	4	3
260	130	9	7	2

Etat de vapeur.

Deuxième Tableau des Expériences faites sur l'Éther.

Volume à l'état liquide, 3 ½ parties.	Volume à l'état de vapeur (ou capacité du tube), 20 parties.			
Degrés de Réaumur.	Pressions atmosphériques.		Différence d'un résultat au résultat suivant.	
	Atmosph.	Dixièm.	Atmosph.	Dixièm.
100	14	0		
110	17	5	3	5
120	22	5	5	0
130	28	5	6	0
140	35	0	6	5
150	42	0	7	0
160	50	5	8	5
170	58	0	7	5
180	63	5	5	5
190	66	0	2	5
200	70	5	4	5
210	74	0	3	5
220	78	0	4	0
230	81	0	3	0
240	85	0	4	0
250	89	0	4	0
260	94	0	5	0

Etat de vapeur.

Tableau des Expériences faites sur le Sulfure de Carbone.

Volume à l'état liquide, 8 parties.	Volume à l'état de vapeur, 20 parties.			
Degrés de Réaumur.	Pressions atmosphériques.		Différence d'un résultat au résultat suivant.	
	Atmosph.	Dixièm.	Atmosph.	Dixièm.
80	4	2		
90	5	5	1	3
100	7	9	2	4
110	10	0	2	1
120	13	0	3	0
130	16	5	3	5
140	20	2	3	7
150	24	2	4	0
160	28	8	4	6
170	33	6	4	8
180	40	2	6	6
190	47	5	7	3
200	57	2	9	7
210	66	5	9	3
Etat de vapeur. 220	77	8	11	3
230	89	2	11	4
240	98	9	9	7
250	114	3	15	4
260	129	6	15	3
265	133	5	3	9

Table des Forces élastiques de la Vapeur d'eau, depuis 0,^{m}76 jusqu'à huit pressions.

Nombre d'atmosphères.	Pression en mètres de Mercure.	Température.
1	0,76	100
1 $\frac{1}{2}$	1,140	112,2
2	1,52	122
2 $\frac{1}{2}$	1,90	129
3	2,28	135
3 $\frac{1}{2}$	2,66	140,7

Nombre d'atmosphères.	Pressions en mètres de Mercure.	Température.
4	3,04	145,2
4 $\frac{1}{2}$	3,42	150
5	3,80	154
5 $\frac{1}{2}$	4,18	158
6	4,56	161,5
6 $\frac{1}{2}$	4,94	164,7
7	5,32	168
7 $\frac{1}{2}$	5,70	170,3
8	6,08	173

En comparant les Tables précédentes on peut faire quelques remarques essentielles : par exemple, on voit que les tensions des vapeurs de différens liquides diminuent ou augmentent d'une même quantité pour un même nombre de degrés au-dessus ou au-dessous du terme d'ébullition. Ainsi l'eau à 100° donne une vapeur dont la tension est 0^m760 ; l'alcool à 78° donne aussi une vapeur dont la tension est $0^m,760$. Mais la vapeur d'eau à 10° au-dessous de 100°, qui est son terme d'ébullition, donne une vapeur dont la tension est $0^m,525$; et l'alcool à 10° au-dessous de 78°, qui est aussi son terme d'ébullition, donne une vapeur dont la tension est environ $0^m,525$. Il paraît que cette loi est générale pour toutes les vapeurs, du moins dans des températures peu élevés.

Cette observation importante explique comment certains liquides ne présentent, à des températures ordinaires, quo des tensions à-peu-près nulles. Ainsi l'eau à 0°, c'est-à-dire à 100° au-dessous de son terme d'ébullition, donne pour tension 5 millimètres ; ainsi le mercure, qui bout à 347°, donnera 5 millimètres de pression à 100° au-dessous,

c'est-à dire à 247°; à 100° plus bas encore, c'est-à-dire à 147°, la tension de sa vapeur sera à-peu-près la centième partie de 5 millimètres; et enfin, à 47°, la dix millième partie de 5 millimètres, c'est-à-dire une quantité tout-à-fait inappréciable. On voit, en effet, que la vapeur du mercure, dont l'existence peut être démontrée par d'autres moyens aux plus basses températures, ne présente pourtant aucune tension appréciable dans le vide du baromètre.

Une autre observation très-remarquable, c'est que la nature du liquide puisse influer aussi directement sur la tension d'une vapeur qui ne touche le liquide que par une surface. Pour le comprendre, il faut admettre qu'il existe des tensions dans les couches de liquide, qui se détruisent toutes les unes les autres, excepté celle de la couche en contact avec la vapeur qui n'est équilibrée que par la tension de la vapeur elle-même; en sorte que, si le liquide se refroidit, une portion de la vapeur rentre dans le liquide, parce que la tension de sa surface a diminué; tandis que si le liquide s'échauffe, une portion s'en réduit en vapeur, parce que l'élasticité du liquide n'est plus équilibrée. Mais ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que l'état du corps qui se vaporise n'influe en rien sur la tension de sa vapeur; en sorte que de l'eau liquide à 0°, et de la glace à 0°, donnent la même tension, et qu'en abaissant la température de la glace, les tensions diminuent à-peu-près de la même manière qu'en refroidissant de quantités égales de l'eau à 20°. On observe, par opposition, que les changemens de nature du liquide influent considérablement sur la tension de sa vapeur. Ainsi, de l'eau saturée de sel marin ne fournit qu'à 107° une vapeur d'une tension de $0^m,760$, tandis que l'eau pure la fournit à 100°. Et cependant, dans les deux cas, la vapeur elle-même ne contient absolument que de l'eau très-pure.

On voit encore, par la dernière table, que les tensions des vapeurs depuis une atmosphère jusqu'à huit, ne suivent pas la proportion exacte des températures, qu'il n'y a pas même de progression d'un ordre quelconque qui puisse servir à étendre la table par le calcul; aussi la table présentée et qui a été demandée par le gouvernement à l'Académie des Sciences n'est que provisoire, et une commission spéciale s'occupe d'une série d'expériences sur cet objet.

POIDS SPÉCIFIQUE DES VAPEURS.

280. On conçoit que la connaissance du poids spécifique des différentes vapeurs était d'un grand intérêt pour les physiciens; mais l'application des méthodes ordinaires présentait certaines difficultés, qui dépendent de ce que les vapeurs se condensent avec facilité par le moindre abaissement de température, ou par des différences de pression. M. Despretz a, comme nous l'avons vu, fait quelques expériences fort exactes par la méthode qu'on emploie pour les gaz; mais elle ne pouvait pas s'étendre à des températures élevées, puisque le ballon devait être rempli et pesé exactement, sans avoir changé de température, et qu'il le remplissait d'ailleurs, en le faisant communiquer avec le vide d'un baromètre.

M. Gay-Lussac a découvert un moyen fort exact d'apprécier le poids spécifique de la vapeur, en le déduisant du volume qu'elle prend, comparativement à celui du liquide qui la forme. Il a fait usage d'une cloche graduée, étroite et haute, qu'il a renversée dans un vase plein de mercure pouvant se chauffer à volonté; il a enveloppé cette cloche d'une espèce de manchon de verre plus élevé qu'elle, plongeant profondément dans le mercure du vase, et pouvant se remplir d'eau pure, de manière à submerger la cloche.

L'appareil ainsi disposé, il a préparé de petites ampoules de verre très-minces, remplies de liquide, dont le poids, et par conséquent le volume, pouvaient être parfaitement déterminés. Une de ces ampoules étant engagée sous la cloche remplie de mercure arrivait à son sommet. Tout l'appareil étant bientôt échauffé jusqu'à faire bouillir l'eau environnant la cloche, la petite ampoule se brisait par l'expansion du liquide contenu, et la vapeur, se répandant dans la cloche, y occupait un volume qu'il était facile d'apprécier exactement à l'aide de la graduation.

En faisant toutes les réductions nécessaires, quant à la hauteur du baromètre, aux diverses pressions de l'eau et du mercure de l'appareil, etc., il a déterminé par cette méthode qu'à 100°, et sous la pression $0^m,760$, la vapeur d'eau occupait 1696,4 fois son volume à l'état d'eau liquide; d'où il résulte qu'un volume de vapeur d'eau à 100° pèse 10, lorsqu'un pareil volume d'air, aussi à 100°, pèse 16. Mais comme les vapeurs isolées se dilatent et se contractent suivant les mêmes lois que les gaz, il en résulte qu'à toutes les températures le poids de la vapeur d'eau sera 10, quand celui du même volume d'air est 16, ou qu'en prenant l'air atmosphérique pour unité, le poids spécifique de la vapeur d'eau est 0,6235.

On peut obtenir le poids spécifique de beaucoup de vapeurs par la même méthode que pour les gaz composés, c'est-à-dire, en tenant compte du poids spécifique des principes composant des volumes qui s'unissent, et du volume résultant. En considérant que la vapeur d'eau est formée de 1 volume d'oxigène et de 2 volumes d'hydrogène, le tout réduit de moitié, on trouve le poids spécifique de la vapeur d'eau égal à 0,6206, ce qui se rapproche beaucoup des résultats de l'expérience de M. Gay-Lussac.

La coïncidence de ces deux méthodes n'est pas toujours aussi heureuse; mais, dans les cas où les principes cons-

tituans sont des gaz permanens, on doit préférer le résultat fourni par le calcul au résultat direct fourni par l'expérience.

On est dans l'usage de rapporter les poids spécifiques des vapeurs à 0°, quoique ces vapeurs ne puissent jamais exister à cette température, sous la pression atmosphérique, parce que ce point fixe est très-commode dans l'application des calculs. On trouvera (tome I, page 445), à la fin du tableau des densités des gaz, le poids spécifique des principales vapeurs.

281. *De l'effet des hautes pressions sur les vapeurs.* — M. Cagnard de Latour a observé le premier que les liquides pouvaient se réduire en vapeur dans des espaces très-peu considérables, c'est-à-dire dans des circonstances où ces vapeurs devaient présenter d'énormes tensions. En prenant, par exemple, un tube de verre scellé hermétiquement par les deux extrémités, et contenant un tiers de sa capacité d'alcool, si l'on échauffe peu-à-peu ce tube en l'approchant d'un fourneau, il arrive un moment où l'alcool liquide disparaît, et se trouve par conséquent réduit en vapeur dans un volume seulement triple de celui du liquide; mais au moindre refroidissement, le liquide reparaît et occupe de nouveau son volume primitif. Cette première expérience a prouvé, en outre, que les tubes de verre étaient capables de résister à des pressions beaucoup plus considérables qu'on ne le croyait jusque-là; et M. Cagnard a été plus loin : il a cherché à déterminer quelles tensions présentaient ces vapeurs ainsi formées dans des espaces circonscrits. Il a fait usage pour cela d'un appareil indiqué dans la *fig.* 120 : A B C est un siphon primitivement fermé au point A; on y introduit une certaine quantité de mercure qui s'arrête aux deux niveaux *a*, *b*; on y fait passer ensuite une petite quantité du liquide à essayer, qui occupe l'espace *a a'*; on soude enfin à la

lampe l'extrémité B, de manière à renfermer une certaine colonne d'air atmosphérique dans la longueur B *b*, sur laquelle on trace une échelle semblable à celle du tube de Mariotte : cette portion d'air et cette échelle sont destinées à faire connaître la force élastique de la vapeur par les diminutions de volume de cet air. Tout étant ainsi disposé, on plonge le siphon dans un bain d'huile, dont on élève peu-à-peu la température; et c'est en notant la température du bain, le volume de l'air comprimé et l'espace occupé par la vapeur dans l'autre branche, que M. Cagnard a formé les tables que nous avons données (p. 68). On conçoit que, dans cet appareil, le mercure n'a d'autre usage que de séparer l'air de l'espace où se produit la vapeur, et de lui transmettre sa pression.

Les résultats obtenus par cette méthode sont déjà très-remarquables, en ce qu'ils montrent, ainsi que nous l'avons dit, que les tensions des vapeurs à de hautes pressions sont bien loin d'être proportionnelles à la température, et qu'elles peuvent même se trouver inférieures de près de moitié à ce que le calcul aurait indiqué. Elles ont, en outre, conduit à une foule de résultats très-importans; par exemple, la liquéfaction de presque tous les gaz.

282. *Application de la force de la vapeur aux effets mécaniques.* — On a fait les applications les plus remarquables de la force élastique des vapeurs à la mécanique industrielle, et l'emploi de ce nouvel agent a changé la face de l'industrie humaine, en lui fournissant des puissances en quelque sorte illimitées, et beaucoup moins dispendieuses que toutes celles dont elle avait pu disposer jusqu'alors.

La première idée de l'emploi de la vapeur, comme puissance, a été suggérée par une expérience bien simple : si l'on met de l'eau dans un tube de fer soudé par un bout, et que l'on ferme l'autre avec un tampon de bois solide-

ment enfoncé, en chauffant l'appareil il arrivera une certaine époque où le tampon de bois sera lancé avec une très-grande force. Cette puissance expansive paraît même capable de produire des effets supérieurs à ceux de la poudre à canon.

Salomon de Caux, dans un ouvrage écrit en français, dédié à Louis XIII et publié en 1615, a le premier proposé d'élever de l'eau par la puissance de la vapeur.

En 1663, le marquis de Worcester a renouvelé, du moins en théorie, l'idée de Salomon de Caux, ce qui lui a valu près de ses compatriotes le beau titre d'inventeur de la machine à vapeur, qui doit être rapporté au modeste de Caux.

Papin a imaginé le premier, et ses idées ont été publiées dans les Actes de Leipzic, pour 1668, de faire mouvoir un piston *au moyen de la force élastique de la vapeur et de sa condensation*, ce qui est par conséquent bien antérieur à la patente anglaise de Savery, qui date de 1698.

Papin n'avait fait autre chose que mettre de l'eau dans le fond d'un corps de pompe, la vaporiser en l'échauffant et la condenser en enlevant le feu. Il produisait pourtant ce mouvement alternatif dans un quart de minute. Tous ceux qui depuis ont perfectionné la machine à vapeur n'ont pas fait autre chose, mais ils l'ont fait autrement, et de manière à rendre cette machine plus économique et plus usuelle; en sorte que si Papin est le seul et véritable inventeur de la machine à vapeur à piston, ceux qui ont perfectionné cette machine n'en ont pas moins rendu de grands services aux arts. Par exemple, Newcomen et ses associés ont construit en 1705 la première grande machine marchant par la condensation de la vapeur d'eau. Quant à l'injection de ce liquide dans le corps de pompe, l'idée en est due au hasard.

John Watt a apporté les plus importans perfectionne-

mens dans cet art nouveau; il a imaginé de condenser la vapeur dans une cavité distincte du corps de pompe, de manière à ne pas refroidir celui-ci; il a indiqué l'avantage qu'on pourrait retirer en laissant la vapeur se détendre; il a construit la première machine à double effet, en faisant agir successivement la vapeur dessus et dessous le piston, il a imaginé ce qu'on nomme le parallélogramme articulé, employé comme moyen de maintenir le parallélisme du mouvement de la tige du piston pendant que l'extrémité du balancier décrit des arcs de cercle. Enfin, on lui doit encore l'emploi du régulateur à force centrifuge.

Il est important de remarquer que non seulement Papin a imaginé le premier une véritable machine à vapeur, mais qu'il doit être considéré comme le premier inventeur des bateaux à vapeur, puisqu'il a très-bien décrit un mode de construction qui a été renouvelé de nos jours; c'est encore lui qui a imaginé les robinets à quatre voies, et enfin la soupape de sûreté, en sorte qu'il semble, malgré l'injustice avec laquelle il est traité par nos voisins d'outremer, qu'il lui ait été réservé d'imaginer, le premier, tout ce qu'ils ont depuis exécuté avec tant de perfection.

On doit à MM. Trevithick et Vivian l'application des machines à hautes pressions, au transport des fardeaux.

En cherchant à apprécier la valeur intrinsèque de la machine à vapeur et de ses diverses modifications, on peut dire que cette machine est le plus puissant des moyens industriels que l'homme ait imaginés; que la machine qui marche au moyen de la vapeur d'eau sous la pression ordinaire de l'atmosphère et par condensation, est à-la-fois la meilleure, la plus sûre et la plus économique; enfin, que les machines à hautes pressions, pouvant se passer d'eau de condensation, étant moins compliquées et occupant moins de place, sont très-commodes dans beaucoup de circonstances, sans qu'on doive imaginer qu'elles puissent

être économiques, puisque le calorique latent des vapeurs est proportionnel à leur poids et non à leur volume, et qu'il faut autant de chaleur pour former un mètre cube de vapeur sous deux atmosphères de pression, que pour en former deux sous une seule atmosphère.

Dans ces derniers temps, M. Perkins a imaginé une nouvelle méthode qui paraît infiniment plus puissante et plus économique. Il fait usage d'un vase de petite dimension, mais extrêmement épais, qu'il appelle *générateur*, qu'il remplit complètement d'eau, et qu'il chauffe à une très-haute température. Ce vase est disposé de manière à recevoir, par une de ses extrémités, une petite quantité de nouvelle eau poussée par une très-petite pompe. L'autre extrémité est munie d'une soupape qui ne s'ouvre que sous de très-hautes pressions, et qui fait communiquer le générateur avec le corps de pompe où se meut le piston. Quelque forte que soit la tension de l'eau ainsi chauffée à 200° environ, elle n'ouvre point la soupape; mais à l'instant où une nouvelle quantité d'eau est poussée dans le générateur par la petite pompe, il s'en échappe, par l'autre extrémité, une égale quantité qui, se trouvant à 200°, se réduit subitement en vapeur, et chasse le piston avec une grande force et une grande vitesse. Dans l'expérience dont on a connaissance en France, une force égale à celle de 10 chevaux était produite par un piston de 2 pouces de diamètre, et la tension de la vapeur était de 35 atmosphères.

La grande difficulté d'exécution de cette machine consistait à pouvoir fermer assez solidement les deux extrémités du générateur; mais il paraît que l'on vient de réussir à le construire en fer forgé d'une seule pièce.

Nous ne sommes point entrés dans le détail de la construction des différentes machines à vapeur, qui est du ressort de la mécanique appliquée. Mais il est facile de

concevoir que le piston en mouvement étant fixé à une tige solide, cette tige pourra elle-même élever et abaisser un balancier dont l'autre extrémité ferait mouvoir le piston d'une pompe à eau ordinaire. On conçoit aussi que le même mouvement peut s'appliquer à des manivelles qui feraient tourner des roues pesantes auxquelles on donne le nom de *volans;* et qu'enfin, tous les petits mouvemens particuliers, nécessaires pour entretenir l'intérieur de la machine vide d'air, et pour ouvrir ou fermer, dans le moment convenable, les différentes ouvertures qui font communiquer le corps de pompe avec la chaudière à vapeur ou avec le condenseur, peuvent être produits avec une grande régularité par la machine elle-même; en sorte qu'une fois mise en train, elle se meut d'une manière continue sans secours étrangers et tant qu'on lui fournit de la vapeur.

283. *Mélange des vapeurs avec les gaz.* — En traitant de l'ébullition nous avons dit que les liquides pouvaient se réduire en vapeur à toutes les températures, sous la pression de l'air atmosphérique, par une sorte d'évaporation lente qui s'opère seulement à la surface du liquide, et dans laquelle la vapeur n'a pas réellement à soulever le poids de l'atmosphère : témoins de cette disparition du liquide, qui est, en général, d'autant plus rapide que l'air est plus sec et plus souvent renouvelé, les physiciens l'ont de tout temps attribuée à une sorte d'action dissolvante de l'air, analogue à celle que l'eau exerce sur les sels. Dalton a démontré le premier, d'une manière absolue, que cette supposition était sans fondement, et que, par conséquent, la formation de la vapeur devait être uniquement attribuée, dans tous les cas, à la force expansive du calorique. La démonstration résulte des trois faits suivans : 1°. les liquides se vaporisent plus vite dans le vide que dans l'air ou dans tout autre gaz; 2°. il se forme, dans un

espace plein d'air ou de tout autre gaz, précisément autant de vapeur que dans le même espace vide; 3°. la vapeur une fois formée et mêlée à l'air, jouit d'une force élastique parfaitement égale à celle qu'elle possède lorsqu'elle occupe seule un espace vide. Ces faits se démontrent aisément par les expériences suivantes :

Si l'on compare la rapidité de l'évaporation d'une certaine quantité d'eau exposée à l'air ou placée dans un espace où le vide soit incessamment entretenu, on la trouvera beaucoup plus grande dans ce dernier cas; elle ira même jusqu'à produire la congélation de l'eau, si l'on a fait usage de ce liquide.

Si l'on introduit une certaine quantité d'eau dans un récipient parfaitement vide, et à la température de 0°, on verra le baromètre s'élever de 5 millim., qui expriment la tension de l'eau à cette température. Si, au lieu d'un récipient vide, on se sert d'un récipient rempli d'air parfaitement sec, qui supporte actuellement $0^m,760$, par exemple, de mercure, et qu'on introduise un peu d'eau dans cet air, la température étant toujours 0°, la colonne de mercure s'élevera de 5 millimètres, comme dans le cas précédent, et deviendra, par conséquent, $0^m,765$.

Cette dernière expérience, très-simple, et que l'on peut répéter de beaucoup de manières différentes, et surtout à l'aide de l'ingénieux appareil de M. Gay-Lussac, démontre à-la-fois que la vapeur d'eau a précisément la même tension dans l'air ou dans le vide, et que l'air humide jouit de la somme des deux tensions de l'air et de la vapeur qu'il contient.

Ce qu'il y a de plus remarquable dans le mélange de la vapeur avec l'air, c'est la faculté que la première possède alors de supporter des pressions beaucoup plus grandes que ne le comporte sa propre force élastique. Nous savons, en effet, que la vapeur d'eau ne peut exister seule sous la

pression atmosphérique qu'à la température de 100°, tandis qu'à des températures beaucoup plus basses, et même à 0°, la vapeur d'eau, mêlée à l'air ou aux gaz, semble pouvoir supporter $0^m,765$ de pression, sans se condenser. Cette vapeur se comporte même alors précisément comme le gaz, et ne se précipite point par la compression que l'on fait subir au mélange, tant qu'elle n'est pas au *maximum* déterminé par la température et par l'espace.

Ces faits, et un grand nombre d'autres, ont porté Dalton à établir en principe que les gaz ou les vapeurs mélangées n'exercent aucune pression réciproque les uns sur les autres, et qu'ils supportent, chacun à part, une partie de la pression commune que l'on exerce sur le mélange. Ainsi, dans le cas que nous venons de citer, l'air supporte une pression de $0^m,760$, et la vapeur n'est chargée que des 5 millim. excédens. Quelque difficile à concevoir que soit une pareille proposition, elle est pourtant jusqu'à présent la seule qui s'accorde avec tous les faits.

Les exemples fréquens d'évaporation d'un liquide exposé au contact de l'air atmosphérique, et sans que ce liquide soit élevé à la température de l'ébullition, demandent quelques explications, quand on admet la théorie de Dalton. En effet, à la température ordinaire, les liquides s'évaporent dans l'atmosphère d'autant plus vite que l'air est plus souvent renouvelé; ce que l'on conçoit en se représentant que l'air immobile au-dessus d'un liquide, est bientôt chargé de toute la vapeur que comporte la température, et qu'alors l'évaporation s'arrête, comme cela arriverait dans un espace limité; tandis que, si les masses d'air qui touchent le liquide se renouvellent incessamment, elles n'arriveront jamais à contenir le *maximum* de vapeur d'eau, et le cas sera le même que pour un liquide situé dans un espace indéfini.

L'évaporation libre sera d'autant plus rapide que l'air

environnant sera plus sec; car celui qui contient déjà de la vapeur d'eau, en exige beaucoup moins pour arriver à ce *maximum* qui arrête l'évaporation.

Lorsqu'un liquide est chauffé au-dessus de la température de l'air, son évaporation est d'autant plus rapide que sa température est plus élevée. Il s'échappe de sa surface des vapeurs d'abord visibles, qui se dissipent et disparaissent bientôt dans l'atmosphère. Il arrive alors que l'air s'échauffe lui-même au contact du liquide, et s'élève ensuite pour être remplacé par de nouvel air; en sorte que l'atmosphère qui repose sur le liquide est réellement à une température beaucoup plus élevée que dans l'état ordinaire, ce qui permet dans cet espace la formation d'une plus grande quantité de vapeur, laquelle se mêle peu-à-peu avec les couches supérieures de l'air, si elles sont sèches, ou retombe en nuages dans les lieux voisins plus froids, et va se condenser en liquide sur tous les corps environnans.

Toutes choses égales d'ailleurs, l'évaporation spontanée est d'autant plus rapide, que la surface du liquide est plus considérable, car elle répond à une plus grande masse d'air qui représente un espace plus étendu, dans lequel il peut se répandre plus de vapeurs.

L'effet de l'évaporation spontanée est de refroidir continuellement la masse d'où la vapeur s'échappe, en emportant son calorique à l'état latent. Cet effet est si remarquable, qu'il devient souvent impossible de faire bouillir les chaudières qui présentent de très-grandes surfaces à l'air, et que l'on suspend l'ébullition en agitant le liquide.

A la température même de l'atmosphère, l'évaporation produit souvent une grande déperdition de calorique dans les liquides, ce qui arrive surtout lorsque les surfaces sont étendues, et l'air environnant rapidement renouvelé. Les *alcarazas* sont des vases poreux, dans lesquels on enferme de l'eau qui suinte lentement à leur surface; on les sus-

pend au plafond dans un lieu aéré, et on les met en oscillation. L'évaporation extérieure enlève assez de calorique pour que l'eau intérieure devienne très-fraîche dans des climats où la température de l'atmosphère est au-dessus de 20°. En entourant de coton une ampoule de verre pleine d'eau, mouillant ce coton d'éther, et agitant rapidement ce petit appareil dans l'air atmosphérique, on détermine aisément la congélation de l'eau intérieure.

Ces faits expliquent le froid vif dont nous sommes toujours saisis en sortant du bain, et la facilité avec laquelle on refroidit une partie du corps en la mouillant d'un liquide très-volatil, comme l'éther, et l'exposant à un courant d'air.

Mais l'expérience la plus remarquable, sous ce rapport, est, sans contredit, celle de Leslie. Si l'on place sous le récipient de la machine pneumatique un petit vase métallique contenant de l'eau, et une grande capsule en verre contenant de l'acide sulfurique concentré, et qu'on fasse le vide sous le récipient, la vapeur qui se dégagera de l'eau la refroidira bientôt assez pour la congeler; et l'acide sulfurique absorbant cette vapeur d'eau à mesure qu'elle se formera, s'échauffera et perdra peu-à-peu la faculté d'absorber la vapeur, faculté que l'on pourra lui rendre aisément en le concentrant de nouveau.

Si le liquide que l'on met en évaporation dans le récipient est de l'éther ou du carbure de soufre, on pourra obtenir des abaissemens de température encore plus marqués et congeler le mercure. Mais aucun corps ne produit un froid aussi considérable que l'acide sulfureux liquide, dernièrement obtenu par la compression du gaz.

APPLICATIONS MÉTÉOROLOGIQUES.

284. La masse immense et mobile de l'atmosphère est continuellement en contact, par sa couche inférieure, avec la surface du globe, dont une partie est formée de corps solides, et l'autre de l'étendue des mers. En outre, cette atmosphère présente de grandes variétés de température, soit par rapport à la situation du soleil, soit par rapport aux différentes hauteurs de cette même atmosphère. Il résulte de toutes ces circonstances une très-grande variété d'effets dépendans de la quantité d'eau en vapeur que l'atmosphère peut contenir. Pour les concevoir, il faut partir d'un certain nombre de propositions simples qui sont la conséquence des principes établis, et que nous allons énumérer.

Si une masse d'air, à une température quelconque, est actuellement en contact avec de l'eau, elle contient autant de vapeur qu'il peut s'en former à cette température.

Si cette masse d'air s'échauffe, elle recevra une nouvelle quantité de vapeur proportionnelle à sa nouvelle température. Si cette masse d'air se refroidit, il se condensera une partie de l'eau qu'elle contenait.

Si une masse d'air, qui a été en contact avec de l'eau, est transportée hors de ce contact, sans changer de température, elle conservera le *maximum* de vapeur d'eau qu'elle contenait.

Si cet air est échauffé, il ne contiendra plus le *maximum* de vapeur d'eau qu'il peut contenir.

Si cet air est refroidi, il laissera déposer une partie de l'eau qu'il contenait.

Cela posé, on conçoit d'abord en général que, l'atmosphère étant beaucoup plus chaude dans ses couches inférieures que dans les supérieures, il doit se former sans

cesse à la surface du globe de grandes quantités de vapeurs qui, par leur légèreté spécifique, s'élèveront dans l'atmosphère, et se condenseront bientôt dans ses régions plus froides, ce qui constitue une sorte d'immense distillation continue, dans laquelle l'eau s'élève en vapeur pour retomber en pluie, en neige ou en grêle. Mais, indépendamment de ce grand mouvement général, de l'air chaud ayant pris à la surface des mers le *maximum* de vapeurs, peut être transporté dans les régions plus froides de la terre, et laisser alors précipiter à l'état liquide une partie de la vapeur qu'il contenait; et réciproquement, l'air échauffé hors du contact de l'eau dans les climats brûlans des tropiques, arrivera dans les régions tempérées avec une grande aptitude à recevoir de nouvelles quantités de vapeurs. La même disposition existera pour l'air des régions polaires, qui ne saurait contenir qu'une très-petite quantité d'eau, à cause de sa basse température, mais qui s'échauffera en approchant de l'équateur, et pourra recevoir de nouvelles quantités d'eau.

Il résulte de toutes ces variétés que l'air, considéré dans un lieu donné, contient des quantités variables de vapeur d'eau, que l'on peut apprécier par les méthodes qui constituent l'*hygrométrie;* que l'eau qui se précipite actuellement dans l'air, en trouble la transparence, et forme ce qu'on nomme des *brouillards*; que l'air, même alors qu'il est transparent, peut laisser déposer de l'eau liquide sur des corps plus froids que lui, ce qui constitue la *rosée*; que des vapeurs aqueuses arrêtées dans les régions moyennes de l'atmosphère, y constituent les nuages; enfin, que cette eau condensée sous forme liquide ou solide, peut retomber en *pluie*, en *neige* ou en *grêle*. Nous dirons un mot de chacun de ces phénomènes météorologiques importans.

285. *De l'Hygrométrie.* — Tout le monde sait que l'air

atmosphérique peut être sec ou humide. Dans le premier cas, il favorise l'évaporation et ne dépose point de liquide à la surface du corps qu'il environne; dans le second, au contraire, il humecte promptement tous les corps, et surtout ceux qui sont plus froids que lui. On serait tenté de croire que cette différence tient à la quantité absolue de vapeur d'eau contenue dans l'air. Il n'en est cependant point ainsi : de l'air très-chaud peut contenir une grande quantité de vapeur d'eau sans paraître humide, et de l'air froid peut contenir très-peu de vapeur d'eau et donner des signes évidens de sa présence. En effet, l'air paraîtra sec tant que la quantité de vapeur d'eau qu'il contiendra sera au-dessous du *maximum* dépendant de la température; il paraîtra humide aussitôt que la quantité de vapeur d'eau excèdera le *maximum* de la plus petite quantité. Il en résulte que l'air deviendra fréquemment humide en se refroidissant, et deviendra toujours sec en s'échauffant.

Il existe un grand nombre de corps qui ont la propriété d'attirer l'humidité qui est contenue dans l'air et de s'en pénétrer : on les nomme *hygrométriques* ou *hygroscopiques*. Ainsi, l'acide sulfurique concentré et le chlorure de calcium absorbent et condensent toute la vapeur d'eau qui peut se trouver dans un air quelconque en contact avec eux. Ils peuvent servir non seulement à dessécher des gaz, mais encore à mesurer, par leur augmentation de poids, la quantité absolue de vapeur que ces gaz contenaient.

Il est d'autres corps qui absorbent la vapeur contenue dans l'air avec une énergie beaucoup moins considérable; en sorte qu'il s'établit une espèce d'équilibre entre la force absorbante du corps et la tension de la vapeur qui l'environne. Parmi ces corps, il en est qui changent de dimensions en absorbant de l'eau, et c'est à eux que l'on donne particulièrement le nom de corps hygrométriques, parce qu'on s'en est servi pour construire les instrumens à

l'aide desquels on constate le degré d'humidité de l'air. Nous nous contenterons de décrire le plus usité de ces hygromètres, qui a été imaginé par Saussure.

Cet instrument consiste en un cheveu solidement attaché par l'une de ses extrémités, et qui s'enveloppe deux fois autour d'une petite poulie qui fait mouvoir une aiguille; à l'extrémité libre de ce cheveu est attaché un poids qui sert à lui donner le degré de tension convenable. L'intervalle qu'il y a entre la petite poulie et le point fixe renferme une longueur de cheveu, qui s'accroît lorsque ce corps absorbe de l'humidité, et qui diminue lorsqu'il se dessèche : il en résulte des mouvemens qui se transmettent à la poulie et à l'aiguille, laquelle, marchant sur un cadran, peut en faire apprécier les plus petites fractions. Pour régler cet instrument, on le place d'abord dans un vase contenant de l'air parfaitement privé d'eau, et l'on marque *o* le point où l'aiguille s'arrête alors; on porte ensuite l'instrument dans un volume d'air contenant le *maximum* de vapeur, et l'on marque 100 le point où l'aiguille parvient par ce moyen : on divise ensuite en cent parties égales la portion de cercle comprise entre ces deux extrêmes.

Si l'on cherche à se rendre compte de l'action de cet instrument et de la nature de ses indications, on verra que le *maximum* est le point où l'air est disposé à abandonner de l'eau, quelque faible que soit l'affinité qui tend à s'en emparer : le point de sécheresse extrême est celui dans lequel l'eau que le cheveu peut encore contenir est retenue par lui, malgré sa force expansive, dans un espace qui ne contient plus de vapeur d'eau. Les indications intermédiaires résultent d'états moyens, dans lesquels l'espace environnant, contenant déjà une certaine quantité de vapeur d'eau, la tension a moins d'effet et l'attraction du cheveu pour le liquide plus d'avantage; en sorte qu'il

résulte des équilibres divers entre ces deux puissances opposées.

D'après ce que nous venons de dire, il est évident que les indications de l'hygromètre ne peuvent avoir de valeur qu'autant que l'on tient compte de la température, puisque celle-ci fait considérablement varier le degré de tension de l'eau : il faut en excepter les points extrêmes, qui sont toujours les mêmes pour le même hygromètre à toutes les températures.

On voit que l'hygromètre n'indique qu'un rapport entre l'affinité du cheveu pour l'eau et la tension de la vapeur; et comme on ne connaît pas la loi d'affinité du cheveu, on ne peut pas déduire de l'indication hygrométrique la tension actuelle de la vapeur d'eau, ni sa quantité. C'est par des expériences directes et multipliées que M. Gay-Lussac est parvenu à déterminer ces rapports, dont on a formé des tables. Il est remarquable que, quoique le zéro de tension des vapeurs réponde au zéro de l'hygromètre, et le *maximum* de tension aux cent degrés de l'hygromètre, les points intermédiaires ne se correspondent nullement : ainsi, le cinquantième degré de l'hygromètre répond à 27,79 de tension dans la vapeur.

On peut construire des hygromètres avec beaucoup d'autres substances que le cheveu. Celui de Wilson, par exemple, est formé d'une vessie de rat remplie de mercure et communiquant avec un tube étroit. L'humidité dilate la vessie et fait descendre le mercure; l'inverse a lieu par la sécheresse. L'hygromètre à cheveu est jusqu'ici le seul qui ait été rendu comparable et dont on face un usage habituel.

On a cherché à se rendre compte de la quantité absolue d'eau en vapeur que l'atmosphère peut contenir dans son état habituel, et Dalton a trouvé que cette quantité variait de 0,0166 à 0,0033 de son volume, depuis l'air de

la zone torride qui en contient le plus, jusqu'à l'air de l'Angleterre, en hiver. Il résulte de ces approximations, que l'atmosphère contient environ les 0,0142 de son poids d'eau. Il faut seulement remarquer que les parties supérieures de l'atmosphère sont beaucoup plus sèches que les parties voisines du globe, et que dans les voyages aérostatiques la sécheresse devient telle, qu'elle racornit le bois, le parchemin et tous les tissus analogues.

Le degré d'humidité de l'air indiqué par l'hygromètre influe considérablement, et peut-être plus qu'aucune variation atmosphérique, sur la manière dont s'exécutent les fonctions des êtres organisés : on le concevra facilement, si l'on fait attention que la quantité de vapeur actuellement contenue dans l'air est une des causes principales qui modifient la transpiration pulmonaire ou cutanée. En général, la trop grande siccité de l'air produit rapidement des inflammations ; un degré modéré de sécheresse rend les fonctions plus actives et développe la sensibilité générale : l'humidité prolongée, au contraire, débilite plus complètement qu'aucune autre cause, et produit toutes les affections qui peuvent dépendre de l'atonie de nos tissus. (Voy. *les rapports du calorique avec les êtres vivans.*)

286. *Des Brouillards.*—On donne le nom de *brouillards* à la formation de vapeurs aqueuses visibles qui troublent fréquemment la transparence de l'air, qui indique alors le *maximum* d'humidité. On conçoit facilement que ces vapeurs aqueuses puissent se montrer toutes les fois qu'une masse d'air, contenant le *maximum* d'eau à une température donnée, vient à se refroidir par une cause quelconque. Mais il est beaucoup plus difficile de comprendre dans quel état se trouve précisément l'eau qui constitue ces brouillards. En effet, l'eau à l'état de vapeur peut être mêlée à l'air en différentes proportions; mais la vapeur d'eau est transparente comme l'air, et l'eau à l'état liquide,

qui devrait résulter de la condensation de la vapeur, jouissant d'un poids spécifique très-considérable, devrait se précipiter subitement.

Pour se rendre compte de l'existence de l'eau ainsi suspendue dans l'atmosphère, on a supposé qu'elle s'y trouvait à l'état de *vapeur vésiculaire*, c'est-à-dire composée de petits globules creux, à-peu-près comme de très-petites bulles de savon. Ce qui paraît confirmer cette supposition, c'est que, d'une part, il ne se dégage point de calorique lorsque ces brouillards se condensent sur les corps qui y sont exposés, et que, d'une autre part, cette condensation est considérablement augmentée par le choc d'un courant d'air chargé de brouillards sur un corps résistant quelconque. Il paraît que les nuages, dont nous allons parler, sont constitués précisément de la même manière, mais soutenus dans l'atmosphère par des causes particulières.

287. *Des Nuages.* — Nous savons qu'une grande quantité de vapeur d'eau se dégage continuellement de la surface du globe et s'élève dans l'atmosphère; mais nous savons aussi que la température de cette atmosphère s'abaisse continuellement à mesure qu'on s'éloigne de la terre; il est donc naturel que la vapeur d'eau se trouve condensée en parvenant dans des régions plus froides. Il semblerait d'abord que cette condensation dût toujours produire de l'eau liquide ou solide; mais il paraît qu'elle se convertit d'abord en vapeur vésiculaire (286), dont le poids spécifique devrait être un peu plus considérable que celui de l'air: ces vapeurs constituent pourtant les nuages que nous voyons si souvent flotter au-dessus de nos têtes.

En admettant l'existence de la vapeur vésiculaire, on peut concevoir sa suspension dans l'air par les considérations suivantes: 1°. l'air contenu dans les vésicules est nécessairement au *maximum* de vapeur d'eau, et, par

conséquent, spécifiquement plus léger que l'air qui entoure le nuage; 2°. l'air qui se trouve interposé entre les vésicules doit être aussi au *maximum* d'humidité, et doit produire, par conséquent, un courant ascensionnel propre à soutenir l'ensemble du nuage dans l'atmosphère; 3°. enfin, les nuages peuvent être considérés comme des écrans, qui reçoivent et retiennent le calorique rayonnant du soleil pendant le jour, et de la terre pendant la nuit. En conséquence, leur température doit toujours être très-supérieure à celle de l'atmosphère transparente qui les entoure, ce qui doit accroître leur légèreté spécifique.

On conçoit, par ce que nous venons de dire, que, pendant l'action du soleil, les nuages doivent s'élever; qu'ils arrivent ainsi dans une région atmosphérique plus sèche, où ils peuvent de nouveau se réduire en vapeur et disparaître. On conçoit aussi qu'ils peuvent se former ou se dissoudre en passant d'un lieu plus chaud dans un lieu plus froid, ou réciproquement, suivant les courans d'air qui les entraînent, et qu'il peut même s'en former subitement par la rencontre de deux courans d'air opposés, etc.

288. *De la Rosée.* — Tout le monde sait que, par un ciel parfaitement serein, on trouve, au lever du soleil, tous les corps exposés en plein air recouverts d'une couche d'eau qui se rassemble en gouttelettes sur les feuilles des végétaux, et qui porte le nom de *rosée.* Il a été long-temps impossible de se rendre un compte exact de ce phénomène; car la terre, ayant été échauffée pendant le jour par les rayons du soleil, doit être, et est en effet plus chaude que l'atmosphère pendant la nuit; elle ne serait donc nullement propre à déterminer la condensation de l'eau en vapeur qu'un air pur et transparent peut contenir. La théorie du calorique rayonnant a donné une solution remarquable de ce phénomène.

Les feuilles des végétaux qui tiennent à la terre par des

corps mauvais conducteurs du calorique, n'en reçoivent point assez pour réparer les pertes qu'elles peuvent faire; les feuilles font, avec les corps qui les environnent, un échange continuel du calorique rayonnant, comme nous le dirons en parlant de l'équilibre du calorique. Mais la portion de ce calorique rayonnant, qui est dirigée vers le ciel, reste sans compensation pour la plante, puisque l'atmosphère, parfaitement transparente et très-froide dans ses régions supérieures, ne saurait lui renvoyer du calorique en échange. Il en résulte que la feuille devient plus froide que l'air, et qu'il se dépose de l'eau. Cet effet peut être porté au point de congeler l'eau à la surface du végétal, quoique la température de l'atmosphère soit un peu au-dessus de 0°. Et c'est ce phénomène qui constitue ce que l'on nomme les *gelées blanches.*

On conçoit que de semblables phénomènes ne peuvent avoir lieu lorsque le ciel est couvert de nuages; car ceux-ci rayonnent du calorique vers la terre. Ce rayonnement des nuages est quelquefois très-considérable lorsqu'ils sont frappés des rayons du soleil par leur face supérieure, ce qui produit les effets de chaleur si remarquables pendant les orages de l'été. Ces effets dépendent de ce que le rayonnement direct du soleil n'ayant lieu que dans une seule direction, ne frappe les corps que par un seul côté, et nous permet de trouver un abri dans l'ombre des corps solides, tandis que le rayonnement des nuages se faisant de tous les points du ciel à-la-fois, échauffe les corps dans tous les sens et sans qu'on puisse s'en préserver.

289. *Pluie, neige et grêle.* — La vapeur vésiculaire qui constitue les nuages peut se transformer successivement ou subitement en eau liquide ou solide, qui tombe alors dans l'atmosphère en vertu de l'excès de son poids spécifique. Cette transformation est soumise à une multitude de causes et d'influences qu'il est très-difficile d'apprécier,

qui sont encore incomplètement connues, mais qui paraissent principalement liées à des états électriques, comme nous le dirons au livre de l'Électricité.

CHAPITRE V.

DE LA MESURE DU CALORIQUE.

290. Nous avons supposé que le calorique était un corps susceptible de s'accumuler, de se séparer, de se combiner, etc. Nous devons donc rechercher les moyens de déterminer en quelles quantités ce calorique existe, se combine ou se dégage. Et quand nous nous contenterions de considérer le calorique comme cause de la chaleur, il faudrait encore mesurer l'intensité des actions de cette cause.

Lorsque nous touchons un corps, nous éprouvons des sensations de chaleur ou de froid que nous attribuons au passage du calorique du corps à la main ou de la main au corps. Il faut supposer que ce calorique est *libre;* on le nomme aussi *thermométrique;* et on nomme *températures* les états qui produisent ces sensations diverses. On suppose qu'elles dépendent de la plus ou moins grande quantité de calorique libre qui existe dans les corps.

On a remarqué que différens corps, qui produisent sur nos organes ou sur les thermomètres des effets semblables, contiennent souvent des quantités de calorique très-différentes. On en a conclu que les différens corps avaient, en quelque sorte, des *capacités* diverses pour contenir le calorique libre, et on est parvenu à mesurer comparativement ces capacités. Enfin, les indications du thermomètre et les

diverses capacités caloriques des corps n'indiquant que des rapports entre des quantités inconnues de calorique, on a recherché quelle pouvait être la quantité absolue du calorique contenu dans un corps. Nous nous occuperons donc, 1°. de la mesure de la température ; 2°. de la mesure des capacités caloriques; 3°. de la mesure du calorique absolu.

291. *Mesure de la température.* — Les sensations de froid ou de chaud que nous font éprouver les corps ne sont que des indications très-infidèles de leur température, car elles dépendent et de la température même de la main, et des sensations qui ont précédé. On a dû chercher des moyens plus sûrs de mesurer et de comparer les températures des corps : on les a trouvés dans certains changemens que le calorique produit constamment dans les corps qui en sont pénétrés. Ainsi, l'augmentation de volume des liquides échauffés a servi de base à l'instrument qu'on nomme *thermomètre*, la dilatation du platine à un genre de pyromètre, et la contraction de l'argile au pyromètre de Wegwood. Nous allons décrire successivement ces instrumens.

292. Le *thermomètre* consiste, en général, en un tube de verre étroit, terminé par un réservoir sphérique ou cylindrique, et contenant un liquide qui ne remplit pas complètement le tube. Lorsque le réservoir est approché d'un corps chaud, le liquide qui se dilate monte dans le tube; le contraire arrive au contact des corps froids. La quantité dont le liquide s'élève ou s'abaisse fait juger de ce que l'on nomme la température; et, pour l'apprécier avec exactitude, on place à côté du tube une échelle divisée en petites parties, que l'on nomme *degrés*.

Dans la confection d'un thermomètre il y a à considérer le tube, le réservoir, le liquide qu'on emploie, la détermination des points fixes pour servir de comparaison, et la graduation ou division de l'échelle.

Le *tube* de verre doit être d'un diamètre très-petit relativement à la capacité du réservoir, afin que les moindres changemens dans le volume du liquide deviennent très-apparens. Le diamètre du tube doit être exactement le même dans toute sa longueur ; on s'en assure en y introduisant un peu de mercure, et mesurant la longueur qu'occupe cette quantité de mercure transportée dans les différens points de la longueur du tube. Si cette longueur est partout la même, le diamètre du tube est nécessairement uniforme. Comme cela arrive rarement, on peut employer un tube inégal en diamètre, pourvu qu'on ait pris le soin de marquer sur sa longueur les différens espaces occupés successivement par la goutte de mercure, et que l'on modifie ensuite de la même manière l'étendue des degrés que l'on aura à tracer sur l'échelle.

Le *réservoir* peut être sphérique, cylindrique, conique, ou formé d'un tube recourbé sur lui-même en spirale. Le réservoir sphérique peut seul donner un thermomètre exact, attendu que, sous cette forme, la dilatation du verre compense l'irrégularité de celle du mercure; mais ce réservoir, offrant le *minimum* de surface, est plus lentement affecté qu'un autre. Les réservoirs cylindriques et coniques conviennent dans la plupart des cas. Le réservoir en spirale, avec peu d'exactitude, jouit d'une grande sensibilité; on l'emploie spécialement pour reconnaître la température de l'air.

Le *liquide* employé à la construction du thermomètre doit différer suivant l'usage auquel on le destine. L'alcool coloré par l'orcanette se dilate beaucoup; mais comme il bout à 78°, et que d'ailleurs sa dilatation est irrégulière au voisinage de ce terme, il ne peut convenir pour les hautes températures; tandis que lui seul peut servir à constater les températures très-basses qui congèlent les autres liquides. L'eau, l'huile et les acides ont les mêmes

inconvéniens que l'alcool, sans avoir ses avantages. Le mercure est, de tous les liquides, le plus convenable à la construction des thermomètres, attendu qu'il ne bout qu'au-dessus de 300°; que sa dilatation est très-régulière quand on l'observe dans le verre dans une grande étendue de l'échelle thermométrique; et enfin, qu'il est opaque, qu'il réfléchit la lumière; ce qui le rend facilement visible dans les tubes les plus fins.

Faire passer le liquide dans le tube et dans le réservoir n'est pas une chose aussi simple qu'on pourrait le croire, car ces cavités sont pleines d'air qui s'oppose à l'introduction de ce liquide. Pour y réussir, on chauffe le réservoir et on plonge l'extrémité ouverte du tube dans le liquide, dont une portion s'introduit dans l'intérieur lors du refroidissement de l'air. On chauffe alors de nouveau le réservoir jusqu'à réduire le liquide en vapeur, et on plonge subitement l'extrémité du tube dans le liquide. La vapeur qui avait chassé l'air se condense, et l'instrument se remplit complètement, sauf une petite bulle d'air qui est retenue par la capillarité du tube. Pour la chasser, on attache un fil au tube, et on imprime à l'instrument un mouvement de rotation très-rapide qui porte la bulle d'air vers le centre, c'est-à-dire à l'ouverture libre du tube. Il ne reste plus qu'à chasser une portion du liquide, pour que le tube soit en grande partie vide, ce qu'on obtient encore par l'ébullition du liquide. On profite du moment où le tube est plein de la vapeur du liquide pour le sceller hermétiquement à la lampe d'émailleur. Cette dernière opération a pour but de tenir vide d'air la partie supérieure du thermomètre, condition nécessaire, puisque, dans l'élévation du liquide, cet air se trouverait comprimé et ne manquerait pas de briser l'extrémité du tube.

Lorsque le thermomètre a été ainsi préparé, on voit le liquide s'élever ou s'abaisser dans le tube au moindre chan-

gement de température qu'il éprouve; mais il reste à obtenir des points de comparaison pour ces variations de volume, et une échelle pour les mesurer.

Les *points fixes*, indispensables pour rendre les thermomètres comparables les uns aux autres, ne peuvent consister que dans certains états des corps que l'on puisse reproduire à volonté, et qui s'accompagnent toujours de la même température. On a coutume de faire usage de la glace fondante et de l'eau bouillante, et nous avons vu en effet que de la glace qui se fond actuellement est à une température constante, aussi bien que de l'eau qui se réduit en vapeur sous une pression donnée de l'atmosphère et dans un vase métallique.

Pour faire usage de ces moyens, on plonge d'abord le thermomètre dans de la glace pilée ou de la neige, et on marque sur le tube l'endroit où le mercure s'arrête. On porte ensuite l'instrument dans un vase où l'eau est en ébullition, et de manière que tout le tube plonge dans l'eau ou du moins dans la vapeur qui en émane. Le liquide du thermomètre s'élève rapidement et devient stationnaire dans un point que l'on marque également sur le tube.

La *graduation* s'obtient en prenant, avec un compas, l'intervalle qu'il y a sur le tube entre les deux points fixes, portant cette longueur sur la bande de papier ou le plan solide qui doit servir d'échelle, et la divisant en 100 parties égales, si le tube est cylindrique, et proportionnelles aux espaces occupés par la goutte de mercure, s'il ne l'est pas; le zéro de ces 100 parties répondant à la glace fondante, et le 100e. degré à l'eau bouillante. On peut obtenir des degrés au-dessus et au-dessous de ces deux points, en y reportant des parties égales à celles obtenues par la division.

On conçoit que chaque thermomètre construit de cette manière présentera, suivant les différens rapports du

volume de la boule avec le diamètre du tube, un intervalle différent entre le zéro et le 100e degré, et par conséquent des degrés plus ou moins étendus. Mais ils sont parfaitement comparables, puisque tous marqueront 0° dans la glace fondante et 100° dans l'eau bouillante.

Nous avons décrit la graduation du thermomètre *centigrade* actuellement usité en France; mais il existe un certain nombre d'autres thermomètres dont il est important de connaître les rapports avec celui-ci.

Le thermomètre de Réaumur, employé autrefois exclusivement en France, et dont on fait encore très-souvent usage, a précisément les mêmes points fixes; mais l'intervalle qui les sépare est divisé seulement en 80 parties, en sorte que 4 de ces degrés en valent 5 du thermomètre centigrade.

Le thermomètre de Fahrenheit, dont les Anglais se servent, a pour point fixe inférieur la température produite par un mélange de neige et de sel marin, et pour point fixe supérieur celle de l'eau bouillante; l'intervalle est divisé en 212 parties. Il en résulte que le 0° centigrade répond au 32° Fahrenheit, et que 100° de l'un répondent à 180° de l'autre, en sorte que 5° centigrades égalent 9° Fahrenheit.

Le thermomètre de Delisle, dont on fait usage en Russie, a les mêmes points fixes que le thermomètre centigrade; mais le zéro de l'échelle est au terme de l'eau bouillante, et l'échelle est divisée en 150 parties, en sorte que le 150e degré répond à 0° centigrade, et que, par conséquent, 5° centigrades égalent 7°,5 du thermomètre de Delisle, en les comptant en sens inverse.

293. *Thermomètre différentiel.* — Si les corps liquides, qui se dilatent plus que les solides, sont particulièrement propres à la confection des thermomètres, on conçoit que l'air lui-même, en qualité de fluide élastique, peut fournir

un moyen thermométrique très-sensible, pourvu qu'on l'enferme dans une boule de verre qui communique avec un tube gradué, dans lequel se trouve une goutte liquide dont les déplacemens indiquent les changemens de volume de l'air intérieur. Ce thermomètre à air est extrêmement sensible, puisque les changemens de volume de l'air sont au moins 20 fois plus considérables que ceux du mercure. Mais un grand obstacle s'oppose à l'usage ordinaire du thermomètre à air; savoir, les variations dans la pression atmosphérique, qui concourent, avec la température, à produire des changemens de volume dans l'air intérieur.

Leslie et Rumfort, dans le *thermomètre différentiel* et dans le *thermoscope*, ont trouvé moyen d'obvier à cet inconvénient en employant deux volumes d'air soustraits à la pression atmosphérique, et dont l'un peut être échauffé sans l'autre. Le thermomètre différentiel de Leslie consiste en deux boules de verre minces réunies par un petit tube formant le siphon renversé, en sorte que ses deux branches portent à leurs extrémités les deux boules qui se trouvent écartées de quelques pouces, et que ces deux branches sont unies par une portion horizontale. Tout ce petit appareil est rempli d'air et fermé hermétiquement; mais on a soin de placer dans la branche horizontale une goutte d'acide sulfurique colorée en rouge, qui sépare en deux portions la masse d'air qui remplit l'appareil. Dans cet état, si l'air des deux boules ne change pas de température, la goutte d'acide restera immobile; si l'air des deux boules est échauffé ou refroidi de la même quantité, la goutte d'acide restera encore immobile, puisque la force élastique sera accrue ou diminuée de la même quantité dans les deux parties de l'instrument. Mais si l'une des deux boules est échauffée sans l'autre, l'air qu'elle contient repoussera la bulle de liquide, et l'inverse aura lieu si la même boule est refroidie. On peut construire une échelle pour la marche

de la bulle liquide, qui soit tellement calculée, que ses degrés représentent, par exemple, un dixième des degrés du thermomètre centigrade. On nomme *boule focale* celle que l'on expose à des températures variables, et l'on a soin de la séparer de l'autre par une carte qui sert d'écran, pour prévenir les effets du rayonnement. On voit que cet instrument, très-sensible, est propre à indiquer la différence des températures auxquelles se trouvent les deux boules, circonstance d'où son nom a été tiré. On en fait un usage particulier dans les expériences sur le rayonnement.

Quant au thermoscope de Rumfort, il est construit précisément sur les mêmes principes que le thermomètre différentiel, mais avec des dimensions beaucoup plus considérables.

294. *Pyromètre.* — Les thermomètres construits avec des liquides, ou même les thermomètres à air, qui exigent que ce fluide soit contenu dans des vases, sont évidemment insusceptibles de s'appliquer à de hautes températures qui volatiliseraient les liquides et fondraient même le verre. On a imaginé, pour les remplacer dans ce cas, des instrumens qu'on a nommés *pyromètres.* Nous n'en connaissons que deux qui fournissent les indications approximatives suffisantes pour les besoins des arts, mais bien loin de l'exactitude des thermomètres. L'un est le pyromètre de Wegwood, et l'autre le pyromètre de platine.

Le pyromètre de Wegwood est fondé sur une propriété particulière dont jouit l'alumine convenablement séchée au feu, de prendre du retrait ou de diminuer de volume à mesure qu'on l'expose à des températures plus élevées. Pour le préparer, on construit de petits cylindres d'une argile particulière, que l'on fait sécher à une température de 500°. On dispose de l'autre part une plaque épaisse de cuivre, dans laquelle on creuse une gouttière qui diminue

de largeur d'une de ses extrémités à l'autre ; on taille le petit cylindre d'argile de manière qu'il pénètre dans l'extrémité la plus large de cette gouttière ; et, lorsque ce cylindre a été chauffé plus ou moins fortement, il devient plus petit, et susceptible de pénétrer plus ou moins loin dans la gouttière rétrécie.

La longueur totale de la gouttière est de $609^{mm},592$; son extrémité la plus large est de $12^{mm},7$; la plus étroite est de $7^{mm},62$; sa longueur totale est divisée en 240 degrés, dont le zéro qui correspond à 580°,55 du thermomètre centigrade, est placé à l'extrémité la plus large, et le 240 degré à l'extrémité la plus étroite, chacun des degrés de cet instrument équivalant à 72°,22 centigrades.

Un cylindre qui a été placé dans un creuset où le cuivre rouge est entré en fusion, pénètre jusqu'au 27e degré du pyromètre ; celui qui a été placé dans un lieu où le fer fond, pénètre jusqu'au 130e.

On conçoit que la composition des cylindres d'argile doit influer beaucoup sur les résultats donnés par cet instrument. L'auteur conseille de les préparer avec de l'argile blanche de Cornouailles, en y ajoutant la moitié de son poids d'alumine pure. Mais il faut convenir qu'il est presque impossible de préparer des cylindres qui soient comparables les uns aux autres, et que cet instrument est loin de présenter l'exactitude désirable. Il est pourtant encore le seul qui soit applicable à des opérations faites en petit.

Le *pyromètre de platine*, qui a été imaginé par M. Brongniart pour constater les températures des fours à porcelaine de la manufacture de Sèvres, consiste principalement en une barre de platine située verticalement, reposant, par son extrémité inférieure, sur un point fixe, et liée par son extrémité supérieure avec la courte branche d'un levier, dont l'autre bras, très-prolongé, sort du four

et va marquer sur un index, à la manière d'une aiguille, les changemens de dimension qui surviennent dans la longueur de la barre de platine.

Si cet instrument ne présente pas une marche parfaitement régulière, à cause de l'irrégularité même de la dilatation du platine, et de la difficulté d'entretenir des constructions délicates dans un lieu aussi chaud, il a du moins le grand avantage de constater certaines températures du four et de permettre de les reproduire à volonté.

295. On est convenu de donner le nom de température des corps au résultat des expériences faites avec les instrumens que nous venons de décrire. Ainsi, l'on dit qu'un corps est à la température de 0°, de 20°, de 30°, etc., du thermomètre centigrade, que le cuivre fond à la température de 27° du pyromètre de Wegwood. Il est bien évident que ces expressions n'indiquent rien d'absolu relativement à la quantité du calorique qui peut être actuellement contenu dans les corps. Elles expriment seulement la nature des effets que ces corps produisent sur les instrumens nommés *thermomètres*. Nous verrons bientôt qu'une des propriétés essentielles du calorique est de se mettre en équilibre entre les différens corps. Ainsi, ce qu'on nomme température, n'est autre chose que l'état du thermomètre qui se trouve en équilibre avec le corps qu'on examine. On conçoit, par conséquent, que le zéro du thermomètre centigrade n'indique pas l'absence du calorique dans un corps.

On a pris l'habitude de nommer degrés de chaleur et degrés de froid ceux qui se trouvent au-dessus et au-dessous du zéro de l'échelle thermométrique. Ces expressions manquent de justesse et sont propres à donner des idées fausses. Il vaut beaucoup mieux employer les signes + et — pour les deux côtés de l'échelle, en disant, par exemple : la température du corps de l'homme est à + 36°,5;

le mercure se congèle à — 40° du thermomètre centigrade.

MESURE DU CALORIQUE SPÉCIFIQUE.

296. On entend par calorique spécifique les quantités diverses de calorique qui paraissent exister dans des poids égaux de différens corps qui se trouvent à la même température, ou qui agissent de la même manière sur le thermomètre. On nomme *capacité calorique* la faculté que possèdent ainsi les divers corps, de contenir, sous la même température, des quantités différentes de calorique. On compare, en cela, les corps à des vases de capacités très-différentes, qui communiquent entr'eux, et dans lesquels un liquide se met partout au même niveau, quoique les petits vases en contiennent très-peu, comparativement aux grands vases.

Il est facile de s'assurer que les différens corps n'ont pas la même capacité calorique. En effet, si l'on mêle un kilogr. d'eau à 50° avec un kilogr. d'huile de baleine à 100°, le mélange se trouvera à 67°; tandis qu'il devrait se trouver à 75. Ainsi, l'eau aura gagné 17° de température, et l'huile en aura perdu 33. Or, comme les 17° d'élévation de température que l'eau a éprouvés ne peuvent provenir que des 33° que l'huile a perdus, il s'ensuit qu'une quantité de calorique qui élève l'huile à 33°, n'élève l'eau qu'à 17°. On dit alors que la capacité calorique de l'eau est à-peu-près double de celle de l'huile. Ces différences sont quelquefois encore beaucoup plus saillantes; car si l'on mêle 1 kilogr. d'eau à 34° avec un kilogr. de mercure à 0°, le mélange se trouvera à 33°; en sorte qu'il aura suffi du calorique qui produit un seul degré de température dans l'eau, pour en produire 33 dans le mercure.

Les faits que nous venons de citer se trouvant dans le

même cas que les poids spécifiques, et n'indiquant que des rapports entre les quantités de calorique qui élèvent différens corps à la même température, il a fallu adopter une unité de comparaison, et on est convenu de désigner par 1,000 le calorique spécifique de l'eau ou de l'air, suivant que l'on adopte l'un de ces deux corps pour lui comparer les autres.

Nous indiquerons d'abord les différentes méthodes de déterminer le calorique spécifique; nous donnerons ensuite les lois générales qu'on a pu reconnaître jusqu'à présent, et enfin les résultats d'expériences les plus dignes de confiance.

La première méthode qui ait été employée pour déterminer le calorique spécifique des corps, est celle de Black et de Crawford, qui consiste à multiplier des expériences semblables à celles que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire, à mêler des poids connus de différentes substances à diverses températures, et à noter exactement la température obtenue. Elle n'est jamais précisément la moyenne des deux températures primitives, et la capacité calorique de chaque corps est en raison inverse de la température à laquelle il se trouve après le mélange. Ces expériences exigent que les vases qui contiennent les liquides soient à la même température qu'eux : elles doivent être faites très-rapidement pour éviter les changemens de température spontanés; enfin, elles ne peuvent guères s'exécuter que sur des corps liquides.

La seconde méthode a été imaginée et mise en usage par Lavoisier et de Laplace, à l'aide d'un instrument qu'on a nommé *calorimètre de glace.* Elle est d'une grande importance et fondée sur des principes particuliers.

Nous savons que la glace, pour passer à l'état liquide sans changer de température, absorbe une quantité de calorique qui pourrait élever le même poids d'eau liquide à

77°. D'une autre part, différens corps échauffés à la même température doivent, en se refroidissant jusqu'à zéro, laisser dégager des quantités différentes de calorique, et par conséquent ils sont susceptibles de fondre des quantités différentes de glace. Si donc on pouvait enfermer successivement, par exemple, un kilogr. de mercure et un kilogr. d'eau à 30° dans une sphère creuse de glace, on trouverait, en les laissant refroidir tous deux jusqu'à zéro, que l'eau aurait fondu trente-trois fois plus de glace que le mercure. C'est précisément cette expérience que Lavoisier et de Laplace ont réalisée au moyen de leur calorimètre.

Cet instrument, qui est représenté (*fig.* 121), est composé d'une grande capacité A C D B, qui en contient une plus petite A′ C′ D′ B′. L'intervalle qui sépare ces deux vases est rempli de glace pilée, formant une enveloppe qui s'oppose absolument à ce qu'aucune quantité de calorique pénètre de l'extérieur à l'intérieur de la machine; car ce calorique serait employé à fondre une partie de cette glace sans élever sa température. L'eau qui en résulterait pourrait s'écouler par le robinet R. Au-dedans de cette première enveloppe de glace se trouve placé un vase A″ C″ D″ B″ en grillage, dans lequel on peut déposer le corps chaud après qu'on l'a environné de glace pilée. Un petit couvercle creux ferme la cavité interne et se recouvre de glace; un plus grand couvercle ferme la cavité externe et se recouvre aussi de glace. Dans cet état de choses, si la glace qui environne immédiatement le vase A″ C″ D″ B″ vient à fondre, ce ne pourra être qu'en absorbant le calorique du corps chaud, et l'eau qui en résultera pourra s'écouler par le robinet R, sans communication avec l'enveloppe extérieure.

On conçoit qu'avec une semblable machine on peut mesurer les quantités de glace fondue par toutes sortes de corps chauds, liquides, solides ou même gazeux, et même

par des animaux qu'on enfermerait dans la machine, en alimentant leur respiration par un courant d'air. Les expériences faites par cette méthode méritent un haut degré de confiance, à cause des masses considérables sur lesquelles il est permis d'agir : elles n'ont d'inconvénient que la nécessité de se procurer de grandes quantités de glace, et l'inexactitude qui peut résulter de ce que la glace, encore solide, peut rester mouillée d'une plus ou moins grande quantité d'eau liquide. On obvie à cette dernière imperfection, en laissant égoutter l'eau pendant un temps égal dans les expériences comparatives.

La troisième méthode est celle de Rumfort, et sa machine porte le nom de calorimètre d'eau ; elle consiste en une caisse métallique pleine d'eau, dans le fond de laquelle circule un canal horizontal qui a deux ouvertures, une pour introduire les corps, et l'autre pour leur donner issue. Elle est particulièrement applicable à la mesure du calorique spécifique des gaz ou des vapeurs. Pour en faire usage, il suffit de faire passer dans son canal horizontal des quantités connues de gaz à une température déterminée, et d'observer l'échauffement de la masse d'eau du calorimètre. Pour éviter les acquisitions ou les pertes de calorique provenant de l'extérieur, on met le liquide, au commencement de l'expérience, à 5° au-dessous de la température de l'air, et on termine l'opération au moment où cette température est à 5° au-dessus ; en sorte que les acquisitions et les pertes puissent se balancer exactement. Il faut aussi tenir compte de la capacité calorique du vase qui s'échauffe, et représenter son poids par un poids relatif d'eau, que l'on suppose ajoutée à celle qui remplit la machine.

On peut appliquer cette méthode à la détermination de la quantité de calorique développée pendant la combustion : il suffit pour cela de faire commencer le tube hori-

zontal par une sorte d'entonnoir situé au-dessus du corps qui brûle, comme on le voit (*fig.* 122).

Une quatrième méthode a été employée par MM. Petit et Dulong avec une perfection que n'y avaient point apportée les physiciens qui s'en étaient déjà servis. Elle consiste à observer la durée du refroidissement de différens corps élevés à la même température. On conçoit, en effet, que ce refroidissement, qui dépend principalement du rayonnement, et dont la rapidité est proportionnelle à l'élévation de température, doit avoir une durée précisément relative à la quantité de calorique qui produit cette température dans les différens corps. Mais comme le rayonnement est modifié par la nature des surfaces et par la propriété conductrice de la masse qui se refroidit, MM. Petit et Dulong ont obvié à ces causes d'erreur, 1°. en enfermant les corps liquides, ou en poudre, dans un petit vase d'argent qui offre toujours la même surface; 2°. en n'agissant que sur de très-petites masses. Mais comme alors le refroidissement aurait été trop rapide dans l'air, ils ont fait leurs expériences dans le vide.

On a pu remarquer jusqu'ici un certain nombre de circonstances qui se retrouvent toujours dans les phénomènes relatifs au calorique spécifique.

Un corps solide ou liquide n'a pas précisément la même capacité calorifique à toutes les températures. Cette capacité augmente d'une manière très-peu sensible de 0° à 50°; elle s'accroît plus rapidement de 100° à 200°, et de 200° à 300°. Cet accroissement paraît dépendre de l'augmentation de volume du corps, et c'est pourquoi il est peu considérable dans les solides et les liquides, qui se dilatent peu.

Les gaz augmentent considérablement de capacité calorique quand on les dilate, et réciproquement. C'est pourquoi ces gaz dilatés se refroidissent beaucoup, tandis qu'en les comprimant avec force on peut produire de très-hautes

températures. Ces phénomènes deviennent sensibles dans le récipient de la machine pneumatique, où le thermomètre s'abaisse quand on fait le vide, et s'élève quand on laisse rentrer l'air. Dans le briquet pneumatique, on réussit à enflammer de l'amadou par la seule compression rapide de l'air contenu dans le cylindre.

Quant aux vapeurs, MM. Clément et Désormes ont démontré que leur capacité calorifique était inversement proportionnelle à leur volume : comme en même temps ils ont prouvé que la vapeur ne changeait pas d'état par les dilatations et les compressions exercées dans les conditions convenables, il est devenu par là très-probable que le calorique qu'on nomme spécifique existe seul dans les vapeurs, et qu'il ne s'y trouve pas, comme Black l'avait pensé, de calorique latent ou combiné que l'on puisse distinguer du calorique libre ou de température. Ces savans rejettent, en conséquence, le système du calorique latent, et pensent que tous les phénomènes s'expliquent en admettant que les corps qui changent d'état changent aussi de capacité calorique ; en sorte que la vapeur d'eau, par exemple, aurait, à poids égal, une capacité calorique représentée par 5,66, si la capacité calorique de l'eau liquide à 100° est 1.

Il paraît que le même corps, dans deux états différens, peut avoir des capacités caloriques diverses, indépendamment de la grande différence attribuée par Black au calorique latent. Ainsi Kirwan a trouvé qu'en mêlant de la glace à 0° avec de l'eau chaude, et tenant compte du calorique nécessaire pour fondre la glace, la température du mélange était toujours un peu plus élevée qu'elle ne devrait être. Il a conclu de ses expériences, que la capacité calorique de la glace était à celle de l'eau liquide comme 9 est à 10.

Les corps de nature différente ont tous aussi des capacités caloriques diverses. On s'en assure aisément par l'une

quelconque des méthodes que nous avons indiquées, et surtout par les mélanges de Black. Mais MM. Petit et Dulong ont observé un singulier rapport entre les caloriques spécifiques des différens corps et le poids de leurs atômes. Il résulte de leurs recherches, qu'en multipliant le calorique spécifique de différens corps par les poids de leurs atômes, on obtient toujours à très-peu près le même produit. Ainsi, supposant que l'atôme d'argent pèse 6,75, et que son calorique spécifique est 0,0557, si l'on multiplie ces deux nombres l'un par l'autre, on a pour produit 0,3759. Et si de même on multiplie 12,95, poids de l'atôme du plomb, par 0,0296, calorique spécifique, on trouve 0,3794 nombre qui approche du premier autant que de semblables recherches le permettent.

Il résulte de cette remarque importante, que la capacité calorique des atômes semble être toujours la même, et que les corps ne présentent de différence sous ce rapport qu'à raison du plus ou moins grand nombre de leurs atômes, qui se trouve compris dans un poids donné de la substance qu'on examine.

Il faut remarquer que, pour obtenir la coïncidence que nous venons de remarquer, il est souvent nécessaire de choisir entre différens poids admissibles de l'atôme d'un corps, poids qui sont toujours doubles ou sous-doubles les uns des autres. Et, s'il arrivait que le poids choisi ne fût pas le véritable, il resterait encore vrai que les caloriques spécifiques des atômes seraient entr'eux dans des rapports très-simples, c'est-à-dire doubles ou sous-doubles les uns des autres. Si, en effet, on adoptait pour poids de l'atôme d'argent 13,50, comme on le fait communément, le produit par le calorique spécifique deviendrait 0,7518, c'est-à-dire le double du nombre trouvé précédemment. Des lois aussi générales sont d'une très-grande importance en physique, et méritent d'être vérifiées avec beaucoup d'attention.

On a cherché, dans les diversités de capacité calorique des corps, les explications des nombreux changemens de température qui surviennent dans leurs combinaisons, et l'on était porté à croire que les corps simples, qui en s'unissant dégageaient de la chaleur, devaient fournir un composé dont la capacité calorique fût beaucoup moindre que celle des corps composans; ce qui paraît être évident, en effet, lorsque les corps passent, en se combinant, de l'état gazeux à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état solide; mais il s'en faut de beaucoup que cette proposition soit générale, puisque le soufre et le cuivre, par exemple, s'unissent en dégageant beaucoup de calorique, et que le sulfure de cuivre présente une capacité au moins égale à celle des deux corps qui le forment. Il est devenu très-probable que la réunion des électricités opposées est une des principales causes du dégagement de calorique dans les combinaisons.

Nous donnons ici les principaux résultats d'expériences sur la mesure du calorique spécifique des corps, quoique nous pensions que tous ces résultats ont besoin d'être confirmés par de nouvelles recherches.

Lavoisier et de Laplace ont obtenu de leurs expériences avec le calorimètre de glace, les résultats suivans, le calorique spécifique de l'eau étant 1,0000 :

Eau.	1,0000
Soufre.	0,2085
Fer battu.	0,1105
Étain.	0,0475
Plomb.	0,0282
Mercure.	0,0290
Mercure (deutoxide).	0,0501
Plomb (deutoxide).	0,0623
Chaux vive.	0,2169
Verre sans plomb.	0,1929

Acide nitrique (poids spécif., 1,2989). . . .	0,6614
Acide sulfurique (poids spécif. 1,87). . . .	0,3346
Id. (avec 5 parties d'eau).	0,6031
Solution de nitre (nitre 1, eau 8).	0,8187
Huile d'olive.	0,3096

MM. Delaroche et Bérard ont obtenu, au moyen du calorimètre à eau, le calorique spécifique des gaz à volumes égaux et à poids égaux, comparé à l'air pris pour unité, ou comparé à l'eau aussi prise pour unité. En voici les résultats.

Gaz comparés à l'air.	A volumes égaux.	A poids égaux.
Air atmosphérique.	1,0000	1,0000
Gaz hydrogène.	0,9023	12,3410
— Acide carbonique.	1,2583	0,8280
— Oxigène.	0,9765	0,8848
— Azote.	1,0000	1,0318
Azote (protoxide).	1,3503	0,8879
Gaz hydrogène per-carboné. . . .	1,5530	1,5763
Oxide de carbone.	1,0340	1,0805

Les mêmes gaz, comparés à l'eau, ont donné les résultats suivans :

Eau.	1,0000
Air.	0,2669
Hydrogène.	3,2936
Acide carbonique.	0,2210
Oxigène	0,2361
Azote.	0,2754
Protoxide d'azote	0,2369
Gaz hydrogène per-carboné.	0,4207

Oxide de carbone. 0,2884
Vapeur aqueuse 0,8470

Il est essentiel de remarquer que, dans les résultats, il doit y avoir une petite cause d'erreur, attendu que les gaz, en se condensant, diminuent de capacité pour le calorique, et que ceux qui traversaient le calorimètre se condensaient nécessairement en se refroidissant.

MM. Petit et Dulong ont obtenu, par la méthode du refroidissement, les résultats suivans :

Noms des gaz.	Calorique spécifique comparé à l'eau.	Poids des atomes de chaque corps, en supposant que l'atome d'oxigène pèse 10.	Produit de l'atome par le calorique spécifique.
Bismuth . . .	0,0288	13,30	0,3830
Plomb	0,0293	12,95	03,794
Or	0,0298	12,43	0,3704
Platine. . . .	0,0314	11,16	0,3740
Étain.	0,0514	7,35	0,3779
Argent. . . .	0,0557	6,75	0,3759
Zinc	0,0927	4,03	0,3736
Tellure. . . .	0,0912	4,03	0,3675
Cuivre. . . .	0,0949	3,957	0,3755
Nickel	0,1055	3,69	0,3819
Fer	0,1100	3,392	0,3731
Cobalt. . . .	0,1498	2,46	0,3685
Soufre	0,1880	2,011	0,3780

Il existe un grand nombre d'autres déterminations de calorique par Crawford, Dalton, Leslie, Kirwan, Mayer, Wilke, Irvine, John Davy, etc. ; mais elles sont tellement contradictoires, qu'elles ne peuvent fournir aucune donnée théorique ou expérimentale.

On trouve, par exemple, que le calorique spécifique du zinc a été fixé,

Par Dalton, à.	1,10
Par Wilke, à	0,102
Par Crawford, à	0,0943;

que celui de la vapeur d'eau, que MM. Dulong et Petit ont trouvé de 0,8470, est fixé par Crawford à 1,5500.

Enfin, les capacités caloriques différentes du sang artériel et du sang veineux, n'offrent pas une moindre discordance. En effet, Crawford avait trouvé la capacité du sang veineux 0,8928; la capacité du sang artériel 1,0300; différence de plus d'un dixième. Il en avait conclu une théorie de la chaleur animale; mais John Davy, en recherchant ces mêmes capacités, a trouvé

Celle du sang veineux.	0,903
Celle du sang artériel	0,913;

différence d'une centième, et trop petite pour fonder aucune explication.

D'après les notions que nous venons de donner sur la mesure des caloriques spécifiques, il paraît évident que le volume des corps influe considérablement sur leur capacité calorique, ou même la détermine tout-à-fait, en sorte que quelques physiciens ont été jusqu'à penser que le calorique de température appartenait à l'espace plutôt qu'aux corps. Il était donc intéressant de rechercher si un espace vide contenait du calorique, auquel cas sa température devait s'élever en diminuant l'espace, et s'abaisser dans le cas contraire. M. Gay-Lussac a fait construire un très-large baromètre, dont la cuvette profonde pouvait s'élever ou s'abaisser rapidement, de manière à diminuer ou à agrandir le vide barométrique dans lequel il avait placé un thermomètre à air très-sensible. Il a constaté avec cet appareil qu'il ne se produisait,

dans l'espace vide, aucune espèce de changement de température, tandis que ces changemens devenaient très-sensibles aussitôt qu'on introduisait une seule bulle de gaz dans cet espace. Il faut en conclure qu'il n'existe, dans l'espace vide, que le calorique rayonnant qui le traverse à la manière de la lumière.

DE LA MESURE DE LA QUANTITÉ ABSOLUE DE CALORIQUE.

297. Les indications du thermomètre n'expriment autre chose que la tension actuelle du calorique dans un corps, en le considérant comme un fluide élastique.

La mesure du calorique spécifique n'indique que des rapports entre des quantités de calorique qui sont nécessaires pour produire la même tension ou la même température dans les corps. Par conséquent, on a dû rechercher quelle pouvait être la quantité absolue de calorique contenue dans un corps; en d'autres termes, à quel degré de nos thermomètres correspondrait le zéro réel ou l'absence de calorique dans un corps quelconque.

Aucune expérience directe ne peut nous instruire sur ce point; mais on peut établir des calculs fondés sur différentes considérations.

Si l'on suppose que les corps ne changent pas de capacité calorique aux différentes températures, et si les changemens d'état ne sont dus qu'à des changemens de capacité calorique, on pourra, avec le docteur Irvine, déterminer, par une considération très-simple, la quantité réelle de calorique contenue dans l'eau. Le calorique spécifique de la glace est 9, celui de l'eau liquide est 10; mais il faut 77° centigr. de calorique pour changer la glace en eau, et cette quantité fait varier le calorique spécifique d'un dixième; donc, le calorique total de la glace doit égaler neuf fois 77° ou 693°, et par conséquent le zéro réel de

l'eau devrait se trouver à 693° au-dessous du zéro de nos thermomètres. Malheureusement, des deux propositions qui servent de base à ce calcul, la première est fausse, et la seconde n'est pas démontrée.

On peut faire un calcul analogue, dans la supposition que la capacité calorique des corps diminue à proportion du calorique qu'ils dégagent en se combinant ; mais cette supposition est contredite par un très-grand nombre de faits.

Enfin, M. Dalton a raisonné sur un principe qui paraît beaucoup plus solide et mieux d'accord avec l'idée que nous nous faisons de la constitution des gaz. Il suppose que les quantités de calorique sont proportionnelles aux racines cubiques des volumes de gaz à diverses températures ; ce qui paraît vrai, en admettant que les gaz soient livrés à la seule force répulsive du calorique. Cependant, en appliquant cette base de calcul à différentes températures, on obtient des résultats différens pour la quantité de calorique réel d'un même corps.

En résumant les résultats des divers calculs, on trouve pour le terme du zéro réel dans l'eau, les nombres 695°, 857°, 1921°, 4052°, 3334°, 518°, quantités trop différentes les unes des autres pour qu'on puisse en conclure autre chose, sinon que nous ne possédons encore aucun moyen direct ou indirect d'apprécier la quantité réelle de calorique contenue dans un corps, ou de déterminer à quel point de l'échelle thermométrique correspondrait le zéro réel.

CHAPITRE VI.

DE L'ÉQUILIBRE DU CALORIQUE ENTRE LES CORPS.

298. Il est évident que tous les corps qui, d'après nos sensations, sont plus chauds que d'autres, tendent à communiquer à ceux-ci une partie de leur calorique; et si l'on emploie le thermomètre, on voit que plusieurs corps qui affectent d'abord différemment cet instrument, finissent, au bout d'un certain temps, par l'affecter tous de la même manière. Nous savons que cela n'indique point qu'ils contiennent les mêmes quantités de calorique, mais que cela semble indiquer une égalité de tension du calorique dans les différens corps, en considérant le calorique comme un fluide élastique.

Le phénomène dont nous venons de parler est très-général, et porte le nom d'*équilibre de température*. Les physiciens ont beaucoup varié sur son explication, et ont fini par adopter l'hypothèse de Prévot, qui considère le calorique comme un fluide *discret*.

L'équilibre de température peut se produire entre différens corps par des causes variées; et d'abord on conçoit que si deux corps qui se trouvent à des températures différentes sont en contact, l'équilibre pourra s'établir par conductibilité suivant les lois que nous avons exposées : mais cet équilibre pourra aussi se produire à distance, c'est-à-dire sans que les corps se touchent, soit qu'on les observe plongés dans l'air, soit qu'on les enferme dans un espace vide d'air.

Deux corps également échauffés, qui sont actuelle-

ment plongés dans l'air, arrivent, au bout d'un certain temps, à la même température par l'influence de deux causes : 1° l'action de l'air, 2° le rayonnement.

L'action de l'air apporte ou enlève du calorique au corps par communication, et très-rapidement, parce que l'air se renouvelle sans cesse. En effet, si un corps plus chaud que l'air est plongé dans une atmosphère tranquille, elle viendra s'échauffer autour de ce corps en produisant un courant ascensionnel, jusqu'à ce que l'équilibre soit établi; un mouvement inverse arrivera autour d'un corps plus froid que l'air, et par conséquent l'air et les deux corps se trouveront, au bout d'un certain temps, à la même température. On voit que ce moyen d'équilibre est indirect.

Le rayonnement concourt à la production de l'équilibre de température par deux voies différentes : d'abord le corps le plus chaud émettra dans tous les sens plus de calorique, dans un temps donné, que le corps le plus froid; en conséquence, les températures des deux corps se rapprocheront. Mais, en outre (c'est ici le point essentiel de la théorie), le rayonnement produira entre les deux corps des influences réciproques qui détermineront nécessairement l'équilibre ; en effet, le corps le plus chaud enverra au corps le plus froid plus de calorique qu'il n'en recevra, et réciproquement, jusqu'à ce que les deux corps en envoient et en reçoivent autant l'un que l'autre; ce qui arrive lorsqu'il y a équilibre de température.

En adoptant cette ingénieuse explication, il faut admettre que tous les corps de la nature font ainsi un échange continuel de leur calorique; et la variété des surfaces ne s'oppose point à l'équilibre, car celles qui rayonnent le plus sont aussi celles qui absorbent davantage, et précisément dans la même raison.

Il est très-important de remarquer que, si tout ce que

nous avons dit jusqu'à présent sur la mesure du calorique et son équilibre suffit aux physiciens, il n'en est pas de même pour le physiologiste; car le calorique, qui paraît être l'agent le plus puissant dans l'économie animale, semble susceptible d'agir sur nos organes, non-seulement en vertu de sa tension ou de la température réelle, mais encore par son passage à travers ces organes; et il nous sera facile de prouver que des quantités très-différentes de calorique peuvent traverser un corps dans un temps donné, sans que le thermomètre indique ces différences. En effet, supposons qu'une barre de fer soit chauffée à 100° par une de ses extrémités, et maintenue à 0° par l'autre : un thermomètre placé dans le milieu de ce conducteur pourra demeurer stationnaire à une température moyenne, que nous supposerons 50°. Et il est évident que, dans ce cas, la barre de fer est le siége d'un courant de calorique qui se porte de l'extrémité échauffée à l'extrémité refroidie, et dont la vitesse dépend de la différence de ces températures; mais il est certain que si l'une des extrémités de la barre de fer était élevée à 200°, et l'autre extrémité refroidie proportionnellement, le thermomètre pourrait encore demeurer au terme moyen de 50°, quoique le courant de calorique dans le conducteur fût alors beaucoup plus rapide que dans le premier cas.

Un autre exemple beaucoup plus frappant d'un phénomène semblable, se présente dans l'évaporation des liquides. On peut chauffer une masse d'eau par sa partie inférieure, de manière que l'évaporation qui a lieu à sa surface compense les acquisitions de calorique, et que le liquide se maintienne à une température fixe. Mais si, d'une part, on augmente l'action du feu, et que, de l'autre, on accélère par un courant d'air la vaporisation du liquide, la température de la masse pourra rester la même, et cependant il se sera formé, dans un temps donné, beaucoup plus de va-

peur, et par conséquent une plus grande quantité de calorique aura traversé la masse liquide.

Les physiciens n'ont tenu jusqu'ici aucun compte de l'influence des courans plus ou moins rapides de calorique qui peuvent s'établir dans les corps, sans faire varier la tension du calorique ou la température. Il y a ici une grande analogie entre les phénomènes de chaleur et ceux de l'électricité. Les phénomènes de tension de ce dernier fluide sont connus depuis très-long-temps, et ceux des courans électriques n'ont été découverts et étudiés que depuis peu. Et, de même que les organes des animaux ont donné les premiers indices de l'existence des courans électriques, nous verrons les organes des animaux modifiés au plus haut degré par l'influence des courans de calorique.

299. *Du froid.* Nous avons admis une cause capable de produire les phénomènes de chaleur; nous l'avons nommée calorique, et nous lui avons attribué les propriétés nécessaires pour expliquer les phénomènes. Mais il existe aussi des phénomènes inverses, que, par opposition, on peut nommer des phénomènes de froid, et dont on peut attribuer la cause à l'existence d'un fluide que l'on nommerait *frigorifique.* Cet supposition peut même s'appuyer sur des expériences qui, au premier coup d'œil, paraissent concluantes. Par exemple, si, au milieu d'une atmosphère à $+10^{\circ}$ de température, on place un miroir concave vis-à-vis d'un globe de glace, un thermomètre placé au foyer de ce miroir s'abaissera tout à coup de plusieurs degrés : d'où l'on peut conclure que des rayons frigorifiques s'échappent de la glace, sont réfléchis par le miroir et se rassemblent à son foyer. Cependant, si l'on se rappelle la théorie des échanges de calorique par rayonnement, on comprendra que le thermomètre doit

envoyer plus de calorique à la glace qu'il n'en peut recevoir, et que l'effet du miroir doit être d'augmenter beaucoup la rapidité de cet échange inégal, en renvoyant un très-grand nombre de rayons calorifiques du thermomètre à la glace ou de la glace au thermomètre.

Puisqu'il est possible de concevoir, par la supposition unique d'un fluide calorifique, les phénomènes les plus insidieux, il serait contraire à l'esprit systématique d'adopter une double cause superflue. En conséquence, nous ne considérerons le froid que comme un état relatif dans lequel les corps contiennent moins de calorique libre que ceux que nous regardons comme chauds; en sorte que le même corps peut être chaud ou froid par rapport à tel autre. C'est ainsi que, dans les usages habituels, une température de 10° ou 15° nous paraît froide au toucher, tandis que, dans les expériences de physique, on nomme froides les températures qui sont au-dessous de 0°.

Si l'on eût apporté à la distinction que nous venons d'établir toute l'attention qu'elle mérite, et qu'on eût toujours bien précisé la valeur réelle du mot *froid*, on ne serait sûrement pas tombé dans les erreurs, et la confusion qui règnent en physiologie et en pathologie, relativement aux effets du froid sur l'économie animale.

CHAPITRE VII.

DES SOURCES DU CALORIQUE.

300. On est convenu de nommer *sources du calorique* toutes les opérations dans lesquelles la température des corps s'élève. Cependant il est vrai de dire que, dans ces phénomènes, le calorique est plutôt dégagé que formé, et

que le soleil, placé hors de notre globe, paraît mériter lui seul le nom de source de calorique, puisqu'il nous en envoie sans cesse de nouvelles quantités. Néanmoins, en conservant les expressions reçues, les différentes sources du calorique sont : 1° le soleil; 2° la combustion; 3° beaucoup d'autres combinaisons chimiques; 4° la percussion; 5° le frottement; 6° enfin, les phénomènes électriques.

Le *soleil* est évidemment, pour le globe que nous habitons, une source de calorique. Nous avons vu, en parlant du calorique rayonnant, que ce fluide semblait accompagner la lumière qui nous vient du soleil, qu'on pouvait l'en isoler par la réfraction, attendu qu'il est moins réfrangible qu'aucune partie de cette même lumière.

Les quantités de calorique qui nous viennent du soleil varient beaucoup suivant les lieux et les situations relatives de la terre, en raison du temps plus ou moins long pendant lequel le soleil éclaire les différens points de sa surface. C'est ainsi que les régions équatoriales sont frappées presque perpendiculairement, et pendant la moitié de la durée du jour sidéral, par les rayons du soleil qui en élève considérablement la température; tandis que les pôles, qui sont à peine effleurés par ces rayons, demeurent éternellement glacés. Les situations intermédiaires diverses produisent les climats différens; et, comme les relations de chaque point de la terre avec le soleil varient aussi dans le cours de l'année, il en résulte pour eux la diversité des saisons, d'autant plus prononcée qu'on s'approche des pôles, d'autant moins sensible qu'on est plus près de l'équateur.

Il semblerait que ces acquisitions continuelles de calorique transmis par le soleil dussent élever rapidement la température du globe; mais il faut remarquer : 1° qu'une grande partie des rayons calorifiques qui tombent sur le

globe s'en trouvent immédiatement réfléchis, particulièrement à la surface des mers; 2° qu'il se produit continuellement des vapeurs aqueuses à la surface du globe, et qu'une portion se perd probablement dans l'espace, puisque les mers diminuent d'étendue; 3° enfin, que la terre ne reçoit jamais les rayons calorifiques du soleil que par la moitié de sa surface, tandis qu'elle rayonne sans cesse du calorique par la totalité de cette surface.

Il paraît certain que les causes de refroidissement de la terre l'emportent de quelque chose sur le calorique qu'elle reçoit, puisqu'il résulte d'un grand nombre d'observations modernes, que la surface du globe est beaucoup plus froide que son intérieur, et cela suivant une progression tellement rapide, qu'il est probable que le centre de ce globe est dans un état de fusion ignée, et que sa surface habitable n'est qu'une croûte légère solidifiée par le refroidissement.

La chaleur des rayons du soleil est extrêmement variable; elle est très-faible dans les hautes régions de l'atmosphère, où l'air est rare et parfaitement transparent. Elle est beaucoup plus forte lorsque les rayons sont perpendiculaires à la surface du globe que lorsqu'ils sont obliques; elle ne s'élève guère naturellement au-dessus de 49°; mais on peut la porter jusqu'au-delà de 100° en plaçant la boule d'un thermomètre dans la cavité d'un corps noir et mauvais conducteur. On peut concentrer cette chaleur au moyen d'une lentille comme celle de Tchirnhausen, au point de produire des températures plus élevées que celles des meilleurs fourneaux; mais le foyer de chaleur est toujours situé au foyer de lumière que cet instrument produit.

Il résulte des circonstances précédentes, qu'il doit y avoir une grande analogie entre le calorique et la lumière; que l'une étant absorbée peut souvent produire l'autre, et

que peut-être les effets différens ne résultent que de la plus ou moins grande rapidité de leur marche. Il est cependant juste d'observer que la lumière de la lune, qui n'est autre chose que celle du soleil, réfléchie par ce satellite, ne produit jamais la moindre chaleur sensible, même lorsqu'on la concentre par des lentilles, au point de la rendre plus éclatante que la lumière naturelle du soleil.

La *combustion* ou la combinaison des corps avec l'oxigène produit souvent une grande quantité de calorique, et quelquefois simultanément beaucoup de lumière. Il paraît que, dans ce cas particulier, le calorique qui entrait dans la composition du gaz oxigène à l'état latent devient libre tout à coup, lorsque le radical ou l'oxigène lui-même se combine avec un autre corps; et l'on observe, en général, que la quantité de calorique dégagée par la combustion est d'autant plus considérable, que le produit de la combinaison éprouve une condensation plus grande. C'est ainsi que le phosphore, qui solidifie l'oxigène en brûlant, en dégage plus de calorique que le carbone, qui produit de l'acide carbonique gazeux. Si le corps combustible lui-même est à l'état de gaz, il y a en quelque sorte une double source de calorique; et c'est pourquoi l'hydrogène, en brûlant, dégage environ trois fois plus de calorique que le même poids de phosphore. Il s'en faut de beaucoup que ces principes soient susceptibles d'une application rigoureuse à tous les cas de combustion, et nous verrons que l'électricité pourrait bien jouer le principal rôle dans ces phénomènes. (*Voy.* le mot *Combustion* dans notre *Dictionnaire de chimie.*)

Les combinaisons chimiques qui s'exécutent par suite d'une forte affinité, ou entre des corps dont les états électriques sont très-opposés, donnent ordinairement lieu à un grand dégagement de calorique, quelquefois même de lu-

mière, comme il arrive, par exemple, dans l'union du chlore avec le bismuth. On a pensé long-temps que la quantité de calorique ainsi dégagée était proportionnelle à la condensation que les corps éprouvaient; mais beaucoup de faits combattent cette théorie. Par exemple, la combustion de la poudre à canon dégage beaucoup de calorique, quoique ses matériaux passent de l'état solide à l'état gazeux; il se développe alors une température extrêmement élevée. Il résulte de ces faits, et d'un grand nombre d'autres, que notre théorie actuelle du calorique est très-imparfaite, surtout relativement aux capacités calorifiques.

Le *choc* est un moyen puissant de dégager le calorique des corps solides et d'élever leur température. On peut remarquer que le flanc d'une pièce de monnaie s'échauffe sous les coups du balancier; mais on a constaté que la diminution de volume et de capacité calorique était proportionnelle à ce dégagement, ce qui s'accorde avec la théorie.

Les liquides ne semblent dégager aucune quantité de calorique par le choc, comme il est facile de le constater dans les chutes d'eau qui se précipitent d'une grande hauteur sur les corps durs. Cette différence tient sans doute à leur peu de compressibilité.

Les gaz dégagent au contraire une très-grande quantité de calorique par la compression, ce qui paraît dépendre de ce que leur capacité est proportionnelle à leur volume. Un mélange d'oxigène et d'hydrogène s'enflamme par une vive compression, ce qui suppose une température de 500° au moins. Il en est de même dans l'inflammation de l'amadou par la compression de l'air atmosphérique.

Le *frottement* entre les corps solides dégage constamment une quantité de calorique plus ou moins considérable qui, comme on le sait, peut aller jusqu'à les enflammer. Les corps mous jouissent aussi de la même propriété,

comme on le voit par le frottement des deux mains l'une contre l'autre. Mais il n'en est pas de même des liquides et des gaz, qui ne produisent jamais la moindre quantité de calorique, même lorsqu'ils frottent avec violence contre des corps solides. C'est ainsi que l'ajutage d'une pompe à incendie n'est point échauffée par le frottement de l'eau qui le traverse avec tant de rapidité, et que les vents les plus violens n'échauffent jamais les obstacles contre lesquels ils viennent se briser.

La production du calorique par le frottement ne se prête, jusqu'à présent, à aucune explication théorique. Rumford et Haldot ont constaté que l'on peut faire sortir, à l'aide du frottement, d'une masse matérielle isolée, des quantités infinies de calorique, sans que cette masse puisse en recevoir d'aucun côté. Ces expériences ont été faites avec une pièce de canon en bronze, dans laquelle on faisait tourner rapidement un forêt. L'appareil était environné d'une masse d'eau que le calorique développé portait bientôt à l'ébullition, et que l'on pouvait renouveler à volonté. Le remplacement de ce calorique enlevé était impossible, suivant notre théorie, puisque tous les corps voisins étaient à une température beaucoup plus basse que l'appareil.

Si l'on voulait essayer d'expliquer ces phénomènes extraordinaires, il faudrait admettre que les corps contiennent des quantités de calorique infinies, relativement à celles que nous pouvons en faire sortir.

Les *phénomènes électriques* sont évidemment susceptibles de produire des températures très-élevées. Par exemple, quoiqu'un conducteur volumineux, dont on se sert pour décharger une batterie électrique, ne s'échauffe pas sensiblement, en faisant passer la même électricité à travers un conducteur insuffisant, comme un fil métallique

très-mince, ce fil s'échauffe, rougit, et peut même entrer en fusion. Nous avons fondu ainsi 17 pieds de fil de fer par la décharge d'une batterie électrique représentant 109 pieds carrés de surface.

L'électricité galvanique n'est pas moins susceptible de produire de hautes températures. M. Children a fondu, par ce moyen, de grandes longueurs de fils métalliques, et M. Davy a tenu pendant long-temps, dans un état de vive incandescence, un morceau de charbon placé dans le vide, entre les deux pôles d'une très-forte pile.

Les phénomènes saillans que nous venons d'indiquer se reproduisent probablement, à différens degrés, toutes les fois que nous combinons des corps qui sont naturellement doués d'électricités opposées; peut-être est-ce la véritable cause du dégagement de calorique qui accompagne ces combinaisons. On peut expliquer cette production de calorique dans deux suppositions différentes : 1° on peut admettre que les deux fluides opposés sont combinés avec du calorique qu'ils laissent dégager en s'unissant; on peut supposer que le calorique lui-même n'est autre chose que la combinaison saturée des deux fluides électriques opposés. Quoique cette dernière supposition ne soit pas encore démontrée, ce qui exigerait que l'on eût fait voir la disparition du calorique ou le refroidissement des corps quand les fluides électriques se séparent, il est cependant devenu très-probable que le calorique et la lumière sont un même corps, qui est lui-même formé de la réunion des deux fluides électriques opposés.

DE LA PRODUCTION DU CALORIQUE PAR LES COMBUSTIBLES.

301. Il n'est pas indifférent de posséder quelques notions précises sur les différens moyens usités, de se procurer ou de

développer du calorique, et sur les divers appareils dont on peut faire usage pour le communiquer ou le transmettre à d'autres corps; nous examinerons donc succinctement les divers corps qui portent le nom de combustibles, nous comparerons leurs produits en calorique lorsqu'on les brûle, nous dirons un mot des appareils de combustion, nous indiquerons les meilleures méthodes en usage pour chauffer les liquides et les vaporiser, pour porter les corps solides à une haute température, et enfin pour maintenir nos habitations au degré de chaleur qui convient à notre état de santé.

Avant d'entrer dans l'exposition de ces divers détails, il faut remarquer que, pour mesurer comparativement avec quelques succès les quantités de calorique produites dans diverses circonstances, il était nécessaire d'établir une unité de chaleur, comme nous avons précédemment établi une unité de poids, de temps, de longueur, etc.

On est convenu de considérer comme unité de chaleur la quantité de calorique nécessaire pour élever la température d'un kilogramme d'eau, d'un degré du thermomètre centigrade. M. Clément a même donné à cette unité de chaleur le nom de *calorie;* ainsi, un kilogramme d'eau à 60 degrés du thermomètre centigrade contient 60 calories de plus que ce même kilogramme d'eau à 0, et 10 kilogrammes d'eau à 10 degrés contiennent 100 calories de plus que ces mêmes 10 kilogrammes d'eau à 0.

Il faut encore remarquer que, pour la facilité des comparaisons, on pourra dire que telle quantité de combustible est capable d'élever en brûlant, 1 kilogramme d'eau à 5, 6 ou 700 degrés de température, ou de produire ce nombre d'unités de chaleur, quoiqu'il soit impossible d'élever l'eau à une telle température, mais seulement pour conserver l'uniformité d'expression; on peut dire, en

effet, indifféremment qu'une quantité donnée de calorique élève 1 kilogramme d'eau à 1000 degrés ou 10 kilogrammes à 100 degrés, ou 100 kilogrammes à 10 degrés, ou 1000 kilogrammes à 1 degré; il y aura toujours 1000 unités de chaleur ou 1000 calories.

302. *Des combustibles.* On donne ce nom à des corps qui, lorsqu'on les met en contact avec l'air atmosphérique et à une température convenable, s'emparent de son oxigène et dégagent assez de calorique pour produire des effets utiles.

Les combustibles sont solides, liquides ou gazeux. Les combustibles solides les plus généralement employés sont le bois, le charbon de bois, la houille ou charbon de terre, le coke, la tourbe, le charbon de tourbe, les briquettes et les mottes de tan. Les combustibles liquides sont les huiles grasses ou essentielles, l'alcohol et quelquefois l'éther; les combustibles gazeux se réduisent à l'hydrogène pur ou plus ou moins carboné et à l'oxide de carbone.

Quel que soit le combustible qui brûle, il dégage à la fois, 1° de la lumière; 2° du calorique rayonnant; 3° du calorique emporté par le courant d'air qui alimente la combustion.

Il n'y a aucun rapport constant entre la vivacité de la lumière qui accompagne la combustion et la quantité de chaleur qui se produit. Les corps qui brûlent en conservant la forme solide sont lumineux à leur surface seulement; les combustibles gazeux, et qui fournissent par leur combustion des produits également gazeux, brûlent avec une flamme faiblement lumineuse. Il est pourtant des combustibles gazeux, comme l'hydrogène per-carboné, qui donnent en brûlant une lumière très-vive; mais Davy a démontré que ce phénomène tenait à ce que l'hydrogène brûlant avant le carbone, celui-ci se trouvait déposé sous forme solide dans la flamme.

Le bois est, comme on sait, la partie ligneuse d'un grand

nombre de végétaux divers; il est plus ou moins propre à la combustion, suivant sa nature et son état particulier; en général les bois les plus durs, ceux qui ont été coupés en hiver, ceux qu'on a eu le soin de sécher complétement, et enfin ceux qui ont été divisés en plus petits fragmens, produisent le plus de chaleur. Le bois vert peut contenir jusqu'à 41 pour 100 d'eau; le bois sec peut aisément en absorber le dixième de son poids par son exposition à l'air.

Le bois contenant environ 0,91 de son poids de corps ligneux, dont la nature est constante dans les différens bois, il s'ensuit qu'à poids égal les différens bois bien secs, doivent donner des quantités à peu près égales de chaleur; et en effet, un kilogramme de diverses espèces de bois donne de 3300 à 3900 unités de chaleur, dont la moyenne est par conséquent 3600.

Remarquons que le bois de chêne à brûler ordinaire, et tel qu'on le trouve dans les chantiers, ne produit que 2250 unités de chaleur, à cause de la grande quantité d'eau qu'il contient.

En ayant égard au volume, et en supposant le bois dans l'état où le commerce peut le livrer, on obtient la Table suivante :

ESPÈCE DE BOIS.	Poids en kilog. de la corde du bois sec.	Valeur relative des pouvoirs caloriques d'une corde.
Noyer à écorce écailleuse	2222	100
Chêne blanc.	1956	86
Frêne	1707	77
Hêtre	1601	65
Orme	1282	58
Bouleau.	1172	48
Châtaignier	1153	52
Charme.	1592	65
Pin	1218	54
Peuplier d'Italie	877	40

Il était intéressant de connaître, non-seulement la quantité totale de chaleur produite par le bois qui brûle, mais encore le rapport du calorique rayonnant au calorique emporté par le courant d'air. M. Péclet s'est livré sur cet objet à une suite de recherches intéressantes; il a trouvé, par une méthode qui semble susceptible d'exactitude, que la quantité de chaleur rayonnée par le bois est à celle que le courant d'air emporte comme 1 est à 3 pour du bois qui brûle en petits fragmens; cette proportion est bien plus forte, à l'avantage du calorique rayonnant, lorsque le bois laisse de grandes masses de braise, parce que le pouvoir rayonnant du charbon est bien plus considérable que celui de la flamme.

Le charbon est, comme on sait, le résidu que fournit le bois, en l'embrasant d'abord pour étouffer ensuite la combustion, ou en le distillant dans des vaisseaux clos; cette espèce de combustible a le grand avantage de s'embraser facilement et de brûler sans fumée; aussi est-il fort employé aux usages domestiques.

Le bois sec doit contenir 51 pour 100 de charbon; il n'en fournit néanmoins que 15 à 18 pour 100 par le mode de suffocation employé dans les forêts, et 27 pour 100 par la distillation. Il en résulte que le charbon de bois est un combustible dont le prix doit être fort élevé, du moins dans les grandes villes.

La quantité absolue de chaleur dégagée par un kilogramme de charbon de bois peut être estimée au terme moyen de 7300 unités de chaleur. La quantité de calorique rayonnant est à celle que le courant d'air entraîne, comme 5 est à 6.

Le charbon de bois qui se consomme dans les grandes villes laisse dans les magasins où on le dépose, ou dans les bateaux qui l'apportent, un résidu très-abondant por-

tant le nom de *poussier*, qui se compose en effet de charbon en poudre mêlé de petits fragmens de la même substance. Ce résidu est à vil prix et presque sans emploi, attendu la ténuité de ses parties qui l'empêche de se tenir sur des grilles ou de livrer passage à l'air nécessaire pour alimenter la combustion dans les appareils ordinaires. Nous indiquerons plus tard les moyens de tirer parti de ce combustible abandonné.

La houille ou charbon de terre, appelée aussi charbon minéral, est une substance solide, d'un noir plus ou moins brillant, d'un poids spécifique moyen de 1,3. Ce corps est presque entièrement formé de carbone et de matières bitumineuses; il contient parfois diverses proportions de sulfure de fer. Son origine semble organique; il est rempli de débris de végétaux, et présente souvent tout le tissu du bois; son origine est certainement postérieure à l'époque des corps organisés. Il a dû nécessairement être en grande partie liquide. La cause qui l'a produit a dû se répéter plusieurs fois, puisqu'on le trouve en couches plus ou moins profondes et superposées; les circonstances de sa formation ont dû être les mêmes par toute la terre; et enfin, il a dû se déposer lentement et sans secousse, puisqu'il contient des fragmens délicats de végétaux qui ne sont ni brisés ni froissés.

La houille est très-commune à de petites profondeurs au-dessous du sol; on a calculé qu'une seule mine anglaise pourrait fournir pendant plusieurs centaines d'années à toute la consommation des trois royaumes. Ces mines sont très-communes en France, quoiqu'un très-petit nombre soit jusqu'à présent exploité; on doit les considérer comme une des principales branches des richesses territoriales.

On distingue plusieurs espèces de houille : 1° la houille grasse ou collante qui se ramollit au feu, se gonfle, donne beaucoup de flamme, et un bon coke brûlant avec un

faible résidu; elle est préférée pour les travaux de forge, la fabrication du gaz pour l'éclairage, etc. Ses principales mines en France sont *Rive-de-Giez*, *St-Etienne* et *Givors*, *Tenille* en Bourbonnais et *Litry* en Normandie; la mine de *Newcastle* en Angleterre est de cette espèce; 2° la houille sèche, plus dense, plus grise, est plus sulfureuse que la première; elle ne s'agglutine pas et convient pour le chauffage des fourneaux; les mines de *Marseille*, d'*Aix*, de *Toulon*, ainsi que les charbons de *Fresnes*, appartiennent à cette variété; 3° enfin, la houille compacte, en anglais *canel-coal*; celle-ci n'a encore été trouvée qu'en Angleterre, dans le Lancashire, et en Irlande; elle est noire et terne, très-légère, solide et compacte, susceptible de poli, et ressemblant beaucoup au jayet; elle brûle avec une grande flamme très-lumineuse et laisse très-peu de résidu.

On conçoit que les charbons de terre fournissent par leur combustion plus ou moins de calorique, suivant leur composition; ceux qui contiennent le plus d'hydrogène et laissent le moins de résidu peuvent fournir pour un kilogramme jusqu'à 7150 unités de chaleur. On peut estimer qu'une houille de moyenne qualité fournit environ 6000 unités de chaleur; on ne connaît pas son pouvoir rayonnant, mais il doit être encore plus considérable que celui du charbon de bois.

La houille se vend en France à la voie, qui se compose de 15 hectolitres ras, pesant chacun 80 kilogrammes; la voie est conséquemment de 1200 kilogrammes; les grosses masses de houille se vendent au poids.

Le coke n'est autre chose que la houille privée de tous les élémens volatils qu'elle peut contenir; on le nomme souvent charbon de terre épuré; on le prépare, soit en laissant brûler du charbon de terre dans un four jusqu'à

ce qu'il ne donne plus de flamme, et l'éteignant alors avec de l'eau, soit en distillant le charbon dans des vases fermés pour en extraire l'hydrogène carboné. Le premier procédé peut seul fournir un coke assez dense pour être employé à la fonte du fer.

La préparation du coke par combustion fournit à peu près la moitié de la chaleur qu'aurait produite la combustion complète de la houille.

Le coke pèse environ la moitié du charbon qui l'a produit, et occupe 0,40 de plus en volume; d'où il suit qu'un hectolitre de coke pèse environ 28 kilogrammes. Le coke est une substance poreuse, d'un gris de fer, souvent avec éclat métallique; il ne produit en brûlant que de l'acide carbonique; il laisse ordinairement 15 à 18 pour 100 de cendres.

Le pouvoir calorifique du coke n'a pas été déterminé avec exactitude; la difficulté vient de ce que cette espèce de combustible ne brûle qu'à des températures fort élevées, et par conséquent lorsqu'il est réuni en grande masse dans un fourneau bien construit. M. Péclet estime ce pouvoir à 6500 unités de chaleur; nous avons des raisons de penser que cette estimation est bien inférieure à la vérité, car nous avons souvent eu l'occasion d'éprouver qu'on évapore presque autant d'eau avec un hectolitre de coke pesant 30 kilogrammes qu'avec un hectolitre de houille qui en pèse 80. Cette grande supériorité tient à ce que le coke ne contenant plus aucune substance volatile, aucune quantité de chaleur n'est rendue latente pendant sa combustion.

Le rayonnement du calorique qui accompagne la combustion du coke est extrêmement considérable; aussi la chaleur locale qu'il produit est-elle supérieure à celle qu'on peut obtenir au moyen de tout autre combustible.

Il est très-remarquable que le courant d'air qui afflue

sur le coke pour alimenter sa combustion ne doit avoir qu'une vitesse limitée, au-delà de laquelle le coke s'éteint par l'abaissement de la température; tout le monde a pu remarquer en effet que dans nos foyers, où l'on commence à faire usage de ce combustible, on l'éteint au lieu de l'allumer, en dirigeant sur lui le vent d'un soufflet de cheminée; ce phénomène cesse d'avoir lieu quand le coke est enfermé dans un fourneau dont la température intérieure est déjà très-élevée.

La tourbe est un composé de plantes herbacées en décomposition, mélangées de terre et de sable; on la trouve dans des marais dont elle forme le sol; on l'exploite en l'extrayant par fragmens qu'on fait sécher à l'air; elle est en masse d'un brun noirâtre, légère et spongieuse.

Les tourbières de la France sont situées dans la vallée de la Somme, entre Amiens et Abbeville, dans les environs de Beauvais, près de Corbeil et près de Dieuze. La Hollande, l'Écosse et la Westphalie en font de grandes exploitations.

Il paraît que le pouvoir calorifique de la tourbe de bonne qualité peut être estimé à 3000 unités de chaleur.

Ce combustible exige de très-vastes foyers à cause de sa légèreté spécifique; il brûle lentement et ne saurait produire des températures très-élevées; il est éminemment propre au chauffage des chaudières. Les produits de sa combustion sont fort complexes, et donnent lieu à une odeur piquante et désagréable.

Le charbon de tourbe, ou tourbe carbonisée, s'obtient en distillant à vase clos le combustible précédent; les bonnes tourbes donnent environ 0,40 de charbon. Celui-ci brûle à la manière du charbon de bois.

Le pouvoir calorifique du charbon de tourbe est porté par M. Péclet à 6,400 unités de chaleur.

Nous nous plaisons à consigner ces résultats, qui ne sauraient être trop connus, puisque la tourbe est un produit très-abondant qui se régénère dans les mêmes lieux après un certain temps d'exploitation, qui est encore à vil prix, et dont on ne fait jusqu'à présent usage que dans les localités mêmes qui le fournissent, tandis qu'à l'état de charbon son emploi pourrait se répandre au loin.

On donne le nom de briquettes à de petites masses régulières et compactes que l'on obtient artificiellement. On les prépare avec de la sciure de bois, de la poussière de charbon, de houille ou de coke, mêlée avec de l'eau et de l'argile jusqu'à consistance convenable; elles brûlent lentement, en rayonnant beaucoup de calorique et laissant beaucoup de résidu; elles conviennent dans les cheminées ouvertes et dans les poêles; leur pouvoir rayonnant dépend des proportions de charbon et d'argile qu'elles contiennent.

Les mottes à brûler ne sont autre chose que le résidu ligneux de ce qu'on appelle le *tan*, ou l'écorce de chêne râpée, après que cette matière a cédé ses principes solubles à l'eau. Ce résidu est emmagasiné par les tanneurs; il est ensuite foulé et moulé dans un cercle de fer; la tranche cylindrique qui résulte de cette opération est séchée à l'air libre et vendue pendant l'hiver comme ressource précieuse pour les classes les plus pauvres des grandes cités.

Ce combustible léger, poreux, s'allume aisément, brûle d'une combustion sourde et lente, en développant peu de chaleur et fournissant beaucoup de fumée.

Les mottes à brûler ne sont d'aucun usage dans les arts.

Les combustibles liquides sont beaucoup moins généralement employés que les combustibles solides; néanmoins ils ont dans quelques arts des applications tellement im-

portantes, qu'il est indispensable de prendre une idée de leur produit en chaleur et de leur mode d'emploi.

Les combustibles liquides usités sont : les huiles grasses, animales ou végétales ; les huiles essentielles, l'alcohol et quelquefois l'éther.

Les huiles grasses sont généralement employées à la production d'une lumière artificielle ; à cet effet on détermine leur ascension progressive dans une mèche de coton, de façon qu'en arrivant peu à peu dans le foyer de combustion, elles y soient décomposées en produisant beaucoup d'hydrogène per-carboné, qui brûle avec flamme et en laissant un résidu charbonneux qui s'attache la mèche. Le simple appareil que nous venons de décrire est la lampe ordinaire à mèche ronde ou plate ; elle peut être employée comme moyen de chauffage ; elle l'est même assez souvent par les chimistes et les pharmaciens, et elle a l'avantage de produire, pendant long-temps, une température uniforme, et de n'exiger des soins qu'à de longs intervalles. Elle a les deux inconvéniens de ne produire qu'une faible chaleur et de déposer une grande quantité de noir de fumée sur les vases que l'on chauffe. L'huile est brûlée dans cet appareil avec fort peu d'économie, soit pour la production de la chaleur, soit pour celle de la lumière.

Argant nous a appris à employer l'huile beaucoup plus avantageusement, sous le rapport de l'éclairage, dans les lampes à double courant d'air, injustement nommées *quinquets*. Ces appareils que tout le monde connaît, sont en même temps éminemment propres à produire de la chaleur ; ils consomment la totalité du combustible ; ils peuvent élever la température jusqu'au rouge blanc ; l'intensité de leur flamme peut se modifier à volonté et demeurer long-temps stationnaire au même degré. On a fait de nom-

breuses applications de ce moyen de chauffage. En chimie le petit appareil portatif de Guiton peut servir à exécuter presque toutes les opérations avec la flamme d'un simple quinquet. Les pharmaciens emploient une étuve à quinquet, et placent au-dessus de leur lampe de petits appareils à macération ou à décoction. Ces usages seraient susceptibles de prendre beaucoup plus d'extension.

L'huile est un excellent combustible sous le rapport de son produit en chaleur, puisqu'elle fournit plus de 10,000 unités de chaleur par kilogramme, tandis que le charbon de bois n'en fournit que 7500.

Le prix des huiles est la seule objection à leur emploi très-étendu comme combustible. L'huile de poisson est la moins chère en Angleterre. L'huile d'olive et de colza sont les plus communes en France. Le suif et la cire ont des propriétés analogues.

Les huiles essentielles sont à peine usitées comme combustibles; elles développent beaucoup de calorique; mais elles laissent exhaler une très-grande quantité de fumée en brûlant, même dans un courant d'air rapide.

L'alcool, malgré son prix très-élevé, est un combustible très-usité dans les recherches chimiques et pour des objets de luxe, parce qu'il jouit de l'avantage inappréciable de brûler sans odeur et sans fumée, de quelque façon que se produise sa combustion. L'alcool rectifié produit au-delà de 6000 unités de chaleur par kilogramme.

Il est quelques circonstances rares dans lesquelles on peut considérer l'éther comme un combustible; par exemple, la petite lampe à spirale de platine, dans laquelle l'incandescence de ce métal est entretenue par la vapeur d'éther qui vient se brûler à sa surface.

Les combustibles gazeux sont en très-petit nombre.

On ne connaît guère que l'hydrogène pur, les deux hydrogènes carbonés et le gaz oxide de carbone.

L'hydrogène pur est le plus précieux des combustibles, parce qu'il produit en brûlant 22 à 23000 unités de chaleur pour un kilogramme, et qu'en outre, en le brûlant convenablement, il produit des températures assez élevées pour fondre des substances entièrement réfractaires par tout autre moyen. La difficulté de se le procurer, et l'énorme volume qu'occupent les plus petites masses, sont les seules raisons qui s'opposent à son usage dans la plupart des cas.

La simple flamme de l'hydrogène brûlant librement dans l'air produit déjà une température capable d'élever une petite masse de métal au rouge-blanc; mais si cette flamme est projetée par un courant d'air forcé, elle se raccourcit beaucoup et produit encore une température bien plus élevée. Enfin si l'hydrogène est brûlé avec de l'oxigène pur, comme il arrive dans le chalumeau de Broock, la très-petite flamme qui en résulte devient capable de fondre le platine et tous les corps les plus réfractaires.

L'hydrogène proto-carboné ne produit que 6575 unités de chaleur; mais sa flamme, entraînée dans un courant rapide, est capable de produire les températures les plus élevées. Ce genre de combustible, très-facile à obtenir dans nos climats, a été trop peu usité jusqu'ici, malgré les expériences concluantes que nous avons faites sur une grande échelle, et dont nous allons donner une idée.

Les fours à porcelaine exigent une température extrêmement élevée; on les chauffe à flamme renversée, et de telle façon, que cette flamme seule pénètre dans l'intérieur du four pour en élever la température. Or cette

flamme est exclusivement produite par l'hydrogène carboné qui se dégage du bois.

Sur ce principe, nous avons établi près d'un four à porcelaine un appareil distillatoire capable de carboniser, en 36 heures, temps ordinaire de la cuisson de la porcelaine dans le four, une quantité de bois plus considérable d'un tiers que celle qui était habituellement brûlée pour le chauffage du même four.

La porcelaine a été cuite dans le même temps et avec les mêmes circonstances que de coutume par la seule combustion des gaz produits de la distillation, et le charbon qui a été obtenu pour résidu avait une valeur vénale supérieure à celle du bois qui avait été distillé, en y comprenant celui qui avait servi au chauffage. On avait obtenu en même temps des produits abondans en acide pirolignéux qui ont été négligés.

Nous savons que les produits gazeux de la distillation du bois sont employés, dans les grands ateliers de carbonisation à vases clos, à chauffer ces mêmes vases; mais cet usage est bien au-dessous de l'importance des résultats que l'on pourrait obtenir d'après nos expériences, puisqu'il est démontré que tous les travaux de la porcelaine pourraient être exécutés dans Paris, ainsi que la cuisson de la faïence, sans aucune dépense réelle en combustible.

Il est important, pour concevoir de semblables faits, de se représenter que l'élévation d'un corps solide à une très-haute température, n'exige et n'emploie en effet qu'une très-petite quantité de calorique, à cause de la faible capacité de ces corps pour ce calorique; en sorte, par exemple, qu'il ne faut pas plus de calorique pour élever un kilogramme de fer à 1000°, que pour élever un kilogramme d'eau à 100°; d'où il résulte que, dans tous les arts où il est question d'élever des corps solides à une haute tem-

pérature, il faut bien moins considérer la quantité de combustible à employer, que sa nature plus ou moins propre à produire une chaleur locale considérable.

Ce que nous venons de dire des appareils à cuire la porcelaine ou la faïence, s'applique à plus forte raison aux travaux des forges alimentées par les bois. Toutes les opérations secondaires que subit la fonte pourraient être exécutées par les produits gazeux de la distillation du bois, pendant que le charbon obtenu serait consommé dans les hauts-fourneaux.

Le gaz hydrogène per-carboné, obtenu aujourd'hui en si grand volume de la distillation du charbon de terre, est sans contredit le meilleur moyen d'éclairage qui existe, et son usage est déjà très-répandu dans nos cités; mais ce gaz, considéré comme combustible, présente un intérêt tout-à-fait neuf et digne de la plus sérieuse attention.

Outre que les flammes qui servent à l'éclairage peuvent être employées comme moyen de chauffage, ainsi que le pratiquent déjà quelques pharmaciens, des appareils convenablement disposés pourraient fournir à une pharmacie tout le calorique dont elle a besoin pour ses diverses opérations, en ne consommant d'autre combustible que le gaz; ce moyen réunirait les avantages de la commodité, de la promptitude, de la propreté et même de l'économie, car un combustible plus cher, qui s'allume et s'éteint instantanément, peut, par cela même, devenir moins dispendieux qu'un autre qui paraît intrinséquement beaucoup meilleur marché.

Ces avantages de convenance sont bien moins importans encore que ceux qui résulteraient de l'emploi du gaz comme combustible pour les petits travaux de forge et ceux de bijouterie. Nous avons construit une petite forge dans laquelle les pièces de fer ou d'acier, sur lesquels

s'exerce ordinairement la coutellerie, rougissent à blanc avec une grande promptitude, une grande commodité, et avec l'avantage inappréciable de ne point oxider les métaux que l'on chauffe par cette méthode. La dépense en gaz, au prix où les compagnies le livrent, n'est point assez considérable pour s'opposer à son emploi, et nous formons des vœux pour que toute la coutellerie de Paris se hâte de substituer à la forge ordinaire l'appareil simple que nous avons employé.

Une foule d'autres arts pourraient tirer un grand parti comme combustible, du gaz qui arrive déjà dans presque toutes les rues de la capitale; nous citerons plus particulièrement la chaudronnerie, qui pourrait, à l'aide d'une flamme portative, élever à volonté, à la plus haute température, le point précis de la pièce la plus volumineuse qu'il s'agirait de braser ou de souder.

L'oxide de carbone n'est jamais qu'un produit accidentel de certaines opérations, ce qui n'empêche pas qu'il ne puisse devenir un combustible important, qui jusqu'ici a été complétement perdu. Ainsi la flamme bleue très-étendue qu'on voit se produire au-dessus des fourneaux dans lesquels on fond le fer, est due à la combustion de ce gaz; il se dégage en quantité immense du sommet des hauts-fourneaux dans lesquels on réduit les minerais de fer.

Déjà on a essayé de tirer quelque parti de ce gaz combustible, qui se produit toutes les fois que le charbon brûle dans un lieu dont la température est extrêmement élevée. Nul doute que par la suite on apprenne à employer utilement ce combustible, dans un pays où les bois deviennent chaque jour plus rares, et sont pourtant le principal moyen de produire la chaleur dont on fait usage.

Les différens combustibles dont nous venons de parler exigent pour leur combustion des quantités diverses

d'air atmosphérique. Une idée du moins approximative de ces quantités est une nécessité indispensable à l'appréciation d'un très-grand nombre de phénomènes usuels et d'opérations pratiques.

En thèse générale, on peut adopter le principe posé pour la première fois par M. Welter, que les combustibles produisent de la chaleur en proportion de l'oxigène qu'ils absorbent; mais on est loin de se faire communément une idée juste des grands volumes d'air qui sont nécessaires à l'entretien d'une bonne combustion.

Par exemple, la combustion d'un kilogramme de charbon de terre exige théoriquement 7438 litres d'air; mais dans les meilleurs fourneaux il y a toujours plus de la moitié de l'air qui échappe à l'action du combustible; de sorte qu'en pratique il faut près de 20000 litres d'air pour brûler un kilogramme de charbon de terre, c'est-à-dire au moins vingt-six fois son poids. Cette circonstance explique comment tous les fourneaux dans lesquels la combustion est languissante, faute d'un courant d'air suffisamment actif, donne lieu à une consommation de combustible tout-à-fait disproportionnée avec les effets produits. Cette influence est tellement importante, qu'elle prime toutes les autres considérations, et que la plupart des appareils économiques pour un chauffage quelconque donnent un résultat contraire à leur but, parce que le courant d'air est ralenti par les circonstances mêmes qui ont été mises en usage pour mieux profiter de la chaleur produite, de sorte que le premier principe de l'art de construire les appareils de chauffage, est de faire en sorte que la combustion s'opère avec la plus grande activité possible.

La table suivante, que nous tirons de l'ouvrage de M. Péclet sur la chaleur, présente un résumé de la plupart des données obtenues jusqu'ici sur la production de

calorique des divers combustibles et des quantités d'oxigène et d'air atmosphérique qu'ils consomment.

Tableau de la quantité de chaleur développée par la combustion de 1 kilogramme de combustible.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	QUANTITÉ DE CHALEUR DÉGAGÉE.		QUANTITÉ D'AIR D'OXIGÈNE ABSORBÉ. en litres à la press de 0m, 76 et à 0°.	QUANTITÉ D'AIR D'OXIGÈNE ABSORBÉ. en poids.	QUANTITÉ D'AIR NÉCESS. A LA COMBUST. en litres à la press. de 0m, 76 et à 0°.	QUANTITÉ D'AIR NÉCESS. A LA COMBUST. en poids.
				k		k
Bois parfaitement sec . .	3500		963	1,377	4585	5,96
Bois dans l'état ordinaire de dessiccation, renfermant 25 0 0 d'eau . .	2600		723	1,033	3442	4,47
Charbon de bois. . . .	7300		1853	2,655	8820	11,46
Houille grasse moyenne.	6000		1561	2,234	7438	9,66
Coke, 0,15 de cendres. .	6500		1853	2,655	8820	11,46
Tourbe de bonne qualité	3000		»	»	»	»
Charbon de tourbe donnant 0,18 de cendres	6400		»	»	»	»
Hydrogène.	Laplace. . .	23400	5609	8,038	26709	34,72
	Clément . .	22125				
	Despretz . .	23640				
Hydrogène carboné . . .	Dalton . . .	6375	2743	3,923	13620	17,70
Hydrogène bi-carboné. .	Dalton . .	6600	2356	3,370	11219	14,58
Oxide de carbone	Dalton . . .	1857	400	0,572	1904	2,47
Huile d'olive.	Rumfort . .	9043	2100	3,02	10000	13,00
	Lavoisier. .	11196				
Huile de colza épurée. .	Rumfort . .	9307	»	»	»	»
Ether sulf., p s, 0,728 à 20°	Rumfort . .	8030	1767	2,52	8413	10,93
Alcool à 42°, à 15°,5 de température.	Rumfort . .	6195	1720	2,47	8190	10,64
Alcool à 33°, à 15°,5 de température.	Rumfort . .	5261	»	»	»	»
Suif	Rumfort . .	8639	2174	3,109	10352	13,45
	Laplace . .	7186				
Cire blanche.	Rumfort . .	9479	2188	3,129	10419	13,54
	Laplace . .	10500				
Naphte, p. s., 0,827. . .	Rumfort . .	7338	2257	3,228	10452	13,58
Phosphore	Laplace . .	7500	965	1,380	4595	59,73
Essence de térébenthine.	Dalton . . .	4500	2257	3,228	10452	13,58

On peut, au moyen de cette table, déterminer le prix relatif que coûtent, dans un lieu quelconque, 1000 unités de chaleur obtenues par divers combustibles, si l'on connaît le poids de combustible contenu dans la mesure d'usage, et le prix de cette mesure.

Pour faire ce calcul, on multipliera le nombre d'unités de chaleur produites par un kilogramme de combustible, suivant la table, par le nombre de kilogrammes de combustible contenus dans la mesure. Cela fait, on divisera le prix de la mesure par le nombre obtenu.

En opérant ainsi, on trouve qu'à Paris le charbon de terre coûtant 4 fr. 40 cent. l'hectolitre, et le coke 2 fr. 85 cent.; la corde de bois de hêtre coûtant 70 fr., et l'hectolitre de charbon de bois 4 fr., le prix de 1000 unités de chaleur est représenté par les nombres suivans pour chaque combustible :

Avec le charbon de terre	0,009
Avec le coke	0,015
Avec le bois	0,012
Avec le charbon de bois.	0,025

En sorte qu'à Paris le chauffage avec le charbon de bois est le plus cher de tous.

Le chauffage avec le charbon de terre est un quart meilleur marché que le chauffage avec le bois, et le chauffage avec le coke plus cher qu'avec le charbon de terre ou le bois. Nous extrayons ces données de l'ouvrage de M. Péclet, mais nous sommes loin de les considérer comme absolument vraies, 1° parce que le pouvoir calorifique du coke n'a jamais été bien déterminé, et que nous avons de bonnes raisons de croire qu'il est très-supérieur à l'estimation approximative de M. Péclet; 2° parce que les combustibles sont employés, tantôt pour communiquer de la chaleur, tantôt dans le but spécial de la rayonner, comme il arrive, par exemple, dans les cheminées de nos habitations, en sorte que le coke et le charbon de terre, qui rayonnent peut-être deux ou trois fois plus de calorique que le bois, ont dans ce cas particulier une supériorité relative qui renverse les résultats ou calculs que nous venons de donner.

303. Les appareils de combustion sont tellement variés, que nous ne pourrions, sans sortir du but particulier de cet ouvrage, les décrire en détail; nous nous contenterons d'en donner une idée succincte.

Le cas qui se rencontre le plus fréquemment dans les arts, est celui dans lequel on a pour but de chauffer une masse liquide et de la vaporiser; ce liquide est alors contenu dans une chaudière; le combustible est placé dessous, dans un foyer au-dessus d'une grille. Un canal vertical plus ou moins élevé sert, sous le nom de cheminée, au double usage de transporter au dehors le produit gazeux ou la combustion, et de déterminer un courant d'air suffisant à travers la grille du foyer.

Quelques règles générales peuvent être posées pour la construction de ces sortes d'appareil.

1° La surface par laquelle les chaudières peuvent être échauffées pourra produire jusqu'à 40 kilogrammes de chaleur par mètre carré, si la combustion est active;

2° Plus la cheminée sera élevée, plus elle sera large, et moins elle sera exposée à un refroidissement extérieur, plus le courant d'air qu'elle produira sera rapide;

3° La grille qui supporte le combustible devra avoir $0^{m},13$ de surface avec un quart de vide, pour brûler 10 kilogrammes de charbon de terre par heure;

4° Les détours que l'on forcera l'air chaud de faire autour de la chaudière, pour profiter de la plus grande partie de sa chaleur, ne doivent pas être portés au point d'en trop abaisser la température, parce que la force ascensionnelle de l'air dans la cheminée en serait trop diminuée, et les canaux de circulation doivent avoir un grand diamètre pour ne pas ralentir le courant d'air.

Le chauffage des corps solides à une haute température s'opère à la forge ou dans les fours à réverbère. Dans ces

deux cas, l'expérience a appris les meilleurs moyens d'obtenir, aux moindres frais possibles, les plus hautes températures; il ne manque à ces méthodes pratiques que de connaître l'usage des combustibles gazeux dont nous avons parlé précédemment.

Nous consignerons ici une observation curieuse et d'un grand intérêt pour nos arts.

Il a été constaté par expérience que, dans un grand fourneau employé à la fonte du fer par le coke, où le courant d'air est déterminé par des machines soufflantes, il suffisait d'élever la température de l'air insufflé à 80° pour diminuer d'un quart la consommation du combustible, tout en augmentant à peu près dans la même proportion la production journalière du fourneau.

Ce fait remarquable s'explique parfaitement bien; puisque le but de l'appareil est d'obtenir une chaleur locale assez élevée pour fondre le fer, et que, d'une autre part, tout l'air qui traverse le fourneau doit être échauffé de la température atmosphérique à ce haut degré de chaleur qu'il emporte avec lui. Il y a donc dans ces appareils, d'une part, production de chaleur en proportion du volume d'air affluant, de l'autre part, déperdition de chaleur dans la même proportion. La différence de ces deux effets produit la température qui fond le métal; il est donc évident qu'en échauffant d'avance l'air qui entre dans le fourneau, on diminuera la déperdition sans diminuer la production. Ce nouveau principe ne tardera certainement pas à recevoir les plus importantes applications.

304. Nos habitations dans les climats tempérés, et surtout dans les régions septentrionales, sont loin de se trouver toujours à une température convenable ou même supportable. Nous employons, pour obvier à cet inconvénient, le combustible qui se trouve le plus abondamment dans

chaque contrée, et nous le brûlons dans des appareils divers, qui tous peuvent se diviser en deux classes, connues sous les noms de poêles ou de cheminées. Leur perfection actuelle paraît directement relative à l'intensité du froid que comportent les diverses régions; tout le monde sait qu'on se chauffe beaucoup mieux à Pétersbourg qu'à Paris, et qu'on souffre beaucoup plus du froid en Italie qu'en France.

Les poêles sont des masses plus ou moins volumineuses, au milieu desquelles se trouve un foyer qui communique d'une part avec l'air extérieur, et de l'autre avec un tuyau qui donne issue à la fumée, en la portant en général vers le sommet du bâtiment. Ces appareils sont ordinairement le siége d'une combustion vive, animée par un courant d'air rapide. Ils peuvent être formés de substances conductrices comme les métaux, ou de matières non conductrices, comme les briques, la faïence, etc. Les poêles de métal s'échauffent rapidement, rayonnent trop de chaleur, dessèchent fortement l'air atmosphérique, et se refroidissent avec une égale rapidité. Leur usage ne convient que dans un lieu où l'air doit être continuellement renouvelé; il faut les proscrire des chambres de malades, et en éloigner tout ceux dont la poitrine est irritable.

Les poêles formés de matières non conductrices s'échauffent plus lentement, rayonnent moins de calorique, dessèchent moins l'air et demeurent plus long-temps chauds. Ils sont sous tous ces rapports préférables aux poêles de métal, surtout quand leur surface extérieure est formée par un émail blanc et poli qui rayonne très-lentement le calorique.

La masse relative des poêles est un objet très-important de considération. Si cette masse est très-petite relativement au local qu'il s'agit d'échauffer, il faudra porter

le poêle à une très-haute température, et l'on verra naître presque tous les inconvéniens des poêles de métal. On obviera du moins au desséchement de l'air en plaçant sur le poêle un vase large et peu profond où l'on mettra de l'eau en évaporation.

Si le poêle a une grande masse et une surface très-étendue, il ne sera jamais nécessaire d'en élever fortement la température, et ce sera la meilleure condition de chauffage pour un poêle; c'est ce que l'expérience a appris aux habitans de la Suisse et de l'Allemagne.

On pratique dans l'intérieur des poêles des canaux métalliques qui reçoivent de l'air froid par leur ouverture inférieure, pour verser cet air échauffé dans l'appartement, par ce que l'on nomme des bouches de chaleur; le mieux est que l'air froid soit tiré de l'extérieur par des conduits disposés à cet effet; mais il est très-important que tout le trajet que l'air doit parcourir dans l'intérieur du poêle ait un diamètre considérable, car la force ascensionnelle de l'air dans ces canaux étant très-petite, les bouches de chaleur sont illusoires et les effets presque nuls, quand les canaux de circulation sont étroits.

Dans les poêles de peu de volume, on emploie le tuyau même qui donne issue à la fumée, comme un moyen principal d'échauffer l'air de l'appartement; on multiplie sa longueur par des détours, et même on l'environne d'un double canal pour accélérer l'échauffement et la circulation de l'air. Ces tuyaux partagent les inconvéniens des poêles métalliques.

Les cheminées sont des appareils dans lesquels on brûle le combustible à découvert, en faisant en sorte cependant que les produits de la combustion soient reçus tout entiers dans une espèce de hotte située au-dessus du foyer, et se continuant par un tuyau qui donne issue à la fumée. Le

but principal de ces appareils est de verser dans la chambre le calorique rayonnant produit par le combustible; quant à l'air chaud, il est nécessairement entraîné hors de la pièce par le tuyau toujours très-large qu'exige cet appareil. Il en résulte que les meilleures cheminées sont celles dont les parois, tapissées de matières blanches et polies comme la faïence, sont disposées sous des angles convenables pour réfléchir le calorique rayonnant en dehors de la cheminée; telles sont les cheminées dites à la Rumfort; il en résulte encore que le meilleur combustible à brûler dans une cheminée sera, toutes choses égales d'ailleurs, le charbon de terre ou le coke, qui rayonnent une grande partie du calorique qu'ils produisent. La flamme des meilleurs combustibles, si agréable d'ailleurs par le vif éclat qu'elle produit, est bien loin de rayonner autant de calorique que la masse incandescente du charbon de terre ou du coke.

Les cheminées ont le grave inconvénient d'admettre nécessairement le passage continuel d'un très-grand volume d'air, qui doit être continuellement remplacé dans l'appartement par les jointures des portes et des fenêtres; leur tirage est d'ailleurs incertain : elles sont sujettes à laisser répandre de la fumée dans l'intérieur des habitations. On obvie souvent à la fois à l'un et à l'autre de ces inconvéniens, en amenant, par des conduits particuliers, un courant d'air extérieur au-devant du foyer.

La construction de cheminée la plus favorable que nous connaissions, est celle du sieur Lhomond; ces appareils sont munis de plaques de tôle, qui s'élevant et s'abaissant à volonté devant le foyer, rendent le tirage aussi considérable et aussi faible qu'on le veut.

On a construit des appareils mixtes, que l'on peut nommer cheminée-poêles, parce qu'ils consistent dans une masse

isolée au milieu de l'appartement, comme les poêles, et que leur feu peut être mis à découvert comme dans une cheminée. Le plus célèbre et le plus compliqué de ces appareils mixtes est celui de Desarnaud; on réalise aujourd'hui à peu près les mêmes effets par des constructions simples et peu dispendieuses.

Indépendamment des deux moyens de chauffage que nous venons de décrire, on en met aujourd'hui en usage un troisième, que l'on connaît sous le nom de calorifère. Nous entrerons à ce sujet dans quelques détails, parce que lui seul convient pour le chauffage des grandes maisons et des hôpitaux.

Il faut distinguer deux sortes de calorifères, ceux où l'air est échauffé directement par le feu, et ceux où l'air est échauffé par des tuyaux incessamment remplis de vapeur d'eau, et conséquemment maintenu à 100° de température.

Pour établir un calorifère de la première espèce, on construit, dans le lieu le plus bas de l'habitation à échauffer, dans une cave par exemple, un foyer en fonte garni d'un assez grand nombre de tuyaux ou d'appendices présentant beaucoup d'anfractuosités, et conséquemment une surface de développement très-étendue; on recouvre tout cet appareil d'une voûte en briques fermée de toutes parts, excepté en bas pour l'accès de l'air froid, et en haut pour l'issue de l'air chaud. L'ouverture supérieure communique avec des conduits qui vont se distribuer en montant à toutes les pièces de l'édifice, dans chacune desquelles se trouve, au voisinage du plancher, une ouverture garnie d'un registre, laquelle donne issue dans la pièce à l'air échauffé sous la voûte de briques, et qui tend sans cesse à s'élever avec une force d'autant plus grande, que la chaleur est plus considérable et la colonne d'air chaud plus haute.

Cette manière de distribuer de l'air échauffé par un seul foyer dans toutes les parties du plus vaste édifice est à la fois économique, sûre et commode; elle a cependant encore quelques inconvéniens : la plus légère ouverture à l'appareil de combustion mêle à l'air échauffé une certaine quantité de fumée qui se répand partout, et surtout, pour que l'air arrive assez chaud dans les lieux les plus éloignés, il faut qu'il soit beaucoup plus chaud dans les lieux rapprochés du calorifère, et les objets voisins des bouches de chaleur sont ordinairement souillés et altérés ; cet air chaud est toujours trop desséché et rarement exempt de quelque mauvaise odeur.

Le chauffage par la vapeur est bien supérieur à celui que nous venons de décrire : il peut s'exécuter de deux manières différentes; la première est la plus usitée; elle est déjà mise en usage dans quelques-uns de nos hôpitaux.

On dispose dans un des points les plus bas de l'établissement une chaudière à vapeur d'une dimension proportionnée à son importance. On établit dans chacune des salles à chauffer des colonnes verticales ou horizontales, des conduits sous les pavages des salles, enfin des surfaces, d'un développement plus ou moins grand sur lesquelles l'air libre de ces salles doit venir s'échauffer. Toutes ces capacités communiquent ensemble et avec la chaudière à vapeur, par des tuyaux qui n'ont pas besoin d'avoir un grand diamètre, et qui doivent être entourés de corps non conducteurs pour éviter les perditions inutiles de chaleur. Dans les points les plus éloignés de l'appareil, on place quelques robinets que l'on a soin d'ouvrir au moment du chauffage pour donner issue à l'air atmosphérique contenu dans l'appareil, lequel s'opposerait à l'introduction de la vapeur, s'il ne trouvait une ouverture libre pour s'échapper. L'ensemble de cet appareil de chauffage doit pré-

senter une inclinaison telle que l'eau liquide résultant de la condensation de la vapeur revienne d'elle-même dans la chaudière pour s'y vaporiser de nouveau.

Au moyen de ces dispositions, un gros cylindre de cuivre ou de fonte, placé au milieu d'une salle de malades, deviendra un excellent poêle, dont la surface extérieure sera constamment maintenue à 100° de température, mais ne s'élevera jamais au-dessus.

Des tuyaux horizontaux d'un petit diamètre pourront longer le pied du lit des malades en passant sous le plancher percé de nombreuses ouvertures, et leurs pieds reposeront ainsi sur une sorte de chaufferette générale, bien préférable à tous les autres moyens connus de produire le même effet. On peut voir la plupart des choses que nous venons de décrire dans une des cliniques que l'École-de-Médecine possède dans l'hôpital de la Charité.

Mais ce que les physiciens n'y remarqueront pas sans quelque surprise, c'est que les cylindres de chauffage ont été placés horizontalement au lieu de l'être verticalement, tandis qu'il est démontré que, dans la seconde situation, le même cylindre, entretenu à la même température, échauffe trois ou quatre fois plus d'air, dans un temps donné, que dans la première, ce qui dépend de la vitesse accélérée que contracte l'air échauffé le long d'une surface verticale.

Nous terminerons ce sujet par la description de la meilleure de toutes les méthodes que l'on puisse employer pour le chauffage d'un hôpital, lorsqu'on préside à sa construction. Nous l'avons vu pratiquer pour un grand hôpital de fous en Angleterre.

Cette méthode consiste à échauffer de l'air au moyen de tuyaux chauffés eux-mêmes par la vapeur, et à faire ensuite circuler cet air chaud dans toutes les parties du bâ-

timent. Pour y parvenir, on établit dans une cave, une ou plusieurs chaudières de dimensions convenables. On ménage dans les fondations de tous les gros murs des galeries communiquant toutes ensemble et avec l'air extérieur; on ménage aussi dans les gros murs, en les élevant, des conduits verticaux aussi multipliés qu'on le désire, qui communiquent inférieurement avec les galeries, tuyaux qui sont fermés à leur partie supérieure, mais qui peuvent s'ouvrir à volonté par un simple percement dans toutes les salles du bâtiment. On fait circuler deux gros tuyaux de métal dans toutes les galeries des fondations, en les disposant de manière à les chauffer par la vapeur et à faire revenir l'eau de condensation dans la chaudière.

Par ce procédé, l'air que l'on doit échauffer est toujours pris environ à 10°, quel que soit le froid extérieur. Il est chargé d'une quantité d'humidité telle qu'il ne devient pas trop sec, même en l'échauffant. Les routes souterraines ne permettent aucune déperdition du calorique produit; l'air ne contracte aucune odeur fâcheuse, et ne peut jamais se trouver mêlé de fumée; enfin la température de cet air ne pouvant jamais excéder ni même atteindre 100°, on n'observe aucun des inconvéniens des calorifères à air. Les conduits ouverts dans les murs peuvent offrir de grandes dimensions, deviennent de très-bons ventilateurs qui entretiennent non-seulement la chaleur, mais encore la salubrité la plus désirable dans toutes les parties de l'hôpital. Des registres placés aux différentes ouvertures servent au reste à limiter convenablement l'accès de l'air chaud.

La méthode que nous venons de décrire a le grand avantage d'entretenir une tension continuelle de l'air chaud à pénétrer dans les salles des malades, en sorte que l'air de la salle tend à s'échapper par toutes les jointures des portes ou des fenêtres, tandis que, dans les méthodes ordinaires,

et surtout dans la ventilation par aspiration, c'est au contraire l'air froid extérieur qui souffle continuellement à travers ces jointures, et qui se précipite en masse dans la salle lorsqu'on ouvre une porte ou une fenêtre.

Nous désirons beaucoup que les personnes chargées de semblables établissemens tiennent compte de ces observations.

Les différens moyens d'échauffer nos habitations, et surtout de rétablir une température convenable dans nos organes après que nous avons été exposés à un froid extérieur, présentent deux modifications de la plus haute importance hygiénique; tantôt cette chaleur, dont nous sentons le besoin, nous est principalement transmise par communication, tantôt nous la recevons par rayonnement; par exemple, si dans une saison rigoureuse nous entrons dans une chambre échauffée par un poêle, l'air chaud qui nous environne immédiatement cède par communication son calorique à toute la surface extérieure du corps; si au contraire nous entrons dans une pièce où se trouve un foyer à découvert, nous en recevrons, en nous approchant, une grande quantité de calorique rayonnant que nous appliquons à volonté aux différentes parties du corps où le froid se fait sentir.

Ces deux modes d'échauffement ont sur l'économie animale des effets absolument différens. Dans le mode par communication, le sang se porte promptement à la tête, qui est toujours la première échauffée. Un sentiment de faiblesse, et même la céphalalgie et les vertiges, ne tardent pas à survenir, tandis que les membres inférieurs ne sont pas encore échauffés. Dans le mode par rayonnement, les parties inférieures du corps sont immédiatement exposées à l'action de la chaleur; la tête n'éprouve aucun embarras, et l'effet général est plutôt stimulant que débilitant,

Le séjour habituel dans un lieu échauffé par un poêle produit de la débilité, des céphalalgies, et dispose à l'apoplexie. Aucun de ces inconvéniens ne résulte de l'emploi d'un foyer découvert.

En sortant d'un lieu échauffé par un poêle, le froid de l'air extérieur est sensible et pénible; il résulte fréquemment de cette transition des phlegmasies des muqueuses. Ces inconvéniens sont beaucoup moindres en sortant d'un lieu chauffé par une cheminée, parce que l'atmosphère de ce lieu, plus rapidement renouvelée, est toujours beaucoup moins chaude que dans l'usage du poêle, quoique nous trouvions dans le rayonnement du foyer un échauffement plus que suffisant. Il nous est permis d'établir en principe que le chauffage par les poêles est débilitant, nuisible à la santé et plein d'inconvéniens, tandis que le chauffage par les cheminées est stimulant et favorable à la santé. Les vues d'économie ou la nécessité absolue sont donc les seules raisons qui puissent déterminer à préférer les poêles; c'est ce qui arrive nécessairement dans tous les grands établissemens.

CHAPITRE VIII.

DES RAPPORTS DU CALORIQUE AVEC LES ÊTRES VIVANS, ET DE LA CHALEUR ANIMALE.

305. Le calorique paraît être la cause immédiate de la vie; du moins ne rencontre-t-on jamais l'ensemble des phénomènes qui la composent, ou le mode particulier d'existence des corps qui en sont doués, qu'avec une certaine température et une production de chaleur plus ou moins considérable.

Quant à la température, il est une cause physique qui s'oppose à ce que la vie puisse exister au dessous de 0° de nos thermomètres. En effet, les êtres organisés sont essentiellement formés de solides et de fluides ; la circulation de ceux-ci est une condition nécessaire à la vie, et comme ils deviendraient solides au-dessous de 0°, la vie serait nécessairement suspendue ; mais comme ces corps sont souvent exposés à se trouver environnés d'une température beaucoup plus basse, ils ont tous en eux-mêmes un moyen de produire des quantités de calorique qui puissent s'opposer jusqu'à un certain point à un abaissement de température trop considérable. Ces moyens de production du calorique sont peu énergiques pour les végétaux, qui, se trouvant fixés et en partie plongés dans le sol dont la température est rarement très-basse, peuvent tirer de ce sol le calorique indispensable à leur existence ; aussi cette existence cesse-t-elle au niveau des glaces éternelles. Quant aux animaux, et surtout aux oiseaux qui vivent isolés du globe et n'en peuvent tirer que bien peu de calorique, ils sont pourvus d'organes spéciaux qui le produisent sans cesse.

On donne le nom de chaleur organique ou de chaleur animale à ce calorique ainsi développé. On appelle *température propre* celle que ce calorique produit ordinairement et entretient dans les êtres organisés. (Voy. *Source de la Chaleur animale.*)

Indépendamment de cette nécessité physique d'une température donnée pour l'existence de la vie, on peut considérer le calorique comme l'excitant principal de tous les phénomènes vitaux. On remarque en effet que les animaux qui ont une vie plus active, sont aussi ceux chez lesquels la température est plus élevée, et l'on voit languir toutes les fonctions lorsqu'un animal se refroidit, malgré

la production de chaleur dont il est le foyer; tandis qu'on rappelle promptement son énergie en le ramenant à sa température habituelle. Si l'on descend ensuite à des considérations de détail, on peut observer qu'une certaine élévation de température exalte la vitalité des organes jusqu'à les enflammer.

Sans entrer dans les effets variés du calorique sur l'homme en particulier, ce qui est du ressort de l'hygiène et de la thérapeutique, il est important de remarquer quel est le mode d'action du calorique dans les principales circonstances physiologiques.

Il nous paraît résulter d'un grand nombre d'observations faites avec des notions suffisantes sur les lois de la chaleur et sur celles de la vie, que les êtres vivans sont principalement affectés par le passage du calorique à travers leurs organes, tandis qu'on n'a tenu compte, jusqu'à présent, que de la température, c'est-à-dire de la tension actuelle du calorique. Or, cette tension peut demeurer la même, quoique les quantités de calorique qui traversent les organes soient très-différentes. Il nous paraît que c'est surtout en ce point que les êtres organisés diffèrent des corps bruts, relativement aux phénomènes de chaleur.

Ainsi, qu'une barre de fer soit fortement refroidie par un bout et chauffée par l'autre, son milieu pourra demeurer à une température de 100°, par exemple, et le même degré moyen pourra subsister sans aucun mouvement de calorique; mais, dans les deux cas, le corps brut sera affecté de la même manière par le calorique.

Un homme peut se trouver à 34° de température en faisant de très-petites pertes de calorique, et la production interne de ce calorique étant par conséquent peu considérable, alors l'individu n'éprouvera aucune sensation particulière de chaleur; il pourra même éprouver une sensa-

tion de froid, et ses fonctions seront peu actives; mais ce même homme peut se trouver à cette même température pendant que ses organes sont le siége du passage d'une grande quantité de calorique; il s'en produit alors beaucoup à l'intérieur, et il s'en fait une grande déperdition à l'extérieur. L'individu éprouve une vive sensation de chaleur sans qu'elle paraisse justifiée par la température, et toutes ses fonctions sont fortement exaltées. La période de chaleur d'un accès de fièvre présente tous ces phénomènes. Ce que nous venons de dire de l'individu en général s'applique également aux organes ou aux régions de son corps.

Nous pensons donc qu'un des points essentiels de l'action du calorique résulte de la quantité qui traverse les organes dans un temps donné.

Cette considération conduit à une conséquence d'une grande importance. Il est évident qu'il y a deux moyens de faire qu'une grande quantité de calorique traverse les organes; on peut y parvenir, 1° en augmentant la production de ce calorique, qui ne tarde pas à s'échapper par des voies que nous indiquerons; 2° en augmentant les déperditions de ce même calorique. En effet, une boule de mercure congelé, placée dans la main de Pelletier, a causé un sentiment de brûlure et une inflammation, tous deux produits par la grande quantité de calorique qui de toutes parts s'est précipitée vers un point si fortement refroidi.

Les mains ne tardent pas à devenir brûlantes quand on les frotte avec de la neige, et leur température est pourtant abaissée; mais elles sont le siége d'un courant considérable de calorique. Les effets toniques apparens du froid extérieur, des lotions et des bains froids, qui paraissent en contradiction avec l'action sédative connue du froid, s'expliquent parfaitement en tenant compte de l'effet du passage du calorique dans les organes. On sent que, pour la

production de semblables effets, il est nécessaire que la source intérieure du calorique soit suffisante et que les organes essentiels ne soient point atteints d'un refroidissement qui ralentirait leurs fonctions. Nous pensons qu'en appliquant de pareils principes, on résoudrait beaucoup de difficultés qui se sont élevées sur la chaleur animale et ses explications.

306. *De la chaleur animale.* L'espèce de fixité que présente la température des animaux en général et de l'homme en particulier, est un phénomène dont l'explication a exercé la sagacité des physiologistes, des physiciens et des chimistes. Elle présente une contradiction manifeste avec les principes que nous avons établis sur la tendance générale des corps à l'équilibre de calorique. L'homme, en effet, est susceptible de supporter pendant quelques instans la chaleur d'un four chauffé au-delà de 100°. Il peut vivre sous le climat brûlant de Surinam et dans les glaces du pôle, ce qui embrasse près de 150° de l'échelle thermométrique. Cependant, au milieu de ces influences opposées, qui tendent à lui fournir ou à lui enlever d'énormes quantités de calorique, il conserve généralement à peu près la même température propre de 37° à 38° centigr. Ce phénomène a paru si extraordinaire aux physiologistes, qu'ils l'ont attribué à une propriété vitale particulière qui rendrait l'homme également propre à repousser un excès de calorique et à conserver celui qui produit sa température naturelle. Une semblable supposition, attribuant deux effets opposés à une même cause, loin d'expliquer le phénomène, le repousse pour toujours dans la classe des inconnues; nous croyons qu'on ne doit l'adopter qu'après avoir épuisé tous les moyens que peuvent fournir la physique, la chimie et la physiologie, pour expliquer cette prétendue fixité de température suivant les lois connues. Pour y par-

venir, il est nécessaire d'examiner avec attention, 1° quels peuvent être les moyens de production du calorique dans l'économie animale; 2° quelles sont les causes de refroidissement; 3° comment on peut concevoir que de ces deux genres d'effets résulte une température à peu près fixe.

307. *Source de la chaleur animale.* On a remarqué depuis long-temps que la température du corps des animaux était en quelque sorte proportionnelle à l'étendue et à la perfection de leurs organes respiratoires. On peut observer aussi que la température s'élève lorsque la respiration et la circulation sont accélérées, ces deux conditions étant nécessaires à l'accroissement des phénomènes intimes qui se passent dans le poumon.

On a d'abord supposé qu'il se formait, dans les poumons, de l'eau et de l'acide carbonique par la combinaison de l'hydrogène et du carbone avec l'oxigène de l'air. Mais on a bientôt pensé que l'hydrogène n'entrait pour rien dans le phénomène, puisqu'on croyait que la totalité de l'oxigène se retrouvait dans l'acide carbonique.

Telle a du moins été pendant assez long-temps l'opinion la plus généralement admise par les physiologistes; mais des recherches plus récentes et faites avec des moyens analytiques beaucoup plus exacts nous forcent à revenir, jusqu'à un certain point, à l'opinion primitive de Lavoisier, savoir, que l'oxigène de l'air est employé en partie à former de l'acide carbonique avec le carbone du sang, pendant qu'une autre portion s'unit à l'hydrogène pour former de l'eau; il résulte en effet des expériences précises de M. Després, qu'une certaine quantité d'oxigène disparaît toujours dans la respiration des animaux, sans que cette partie se trouve représentée par l'acide carbonique obtenu, ce qu'on ne saurait expliquer qu'en ad-

mettant que cet oxigène s'est uni à de l'hydrogène pour former de l'eau.

Cette disparition de l'oxigène s'élève quelquefois à plus d'un tiers de l'acide carbonique formé; elle est surtout remarquable dans les animaux jeunes; elle est presque constamment accompagnée de l'absorption d'azote.

Répondant à l'objection que les poumons devraient, dans ce cas, être beaucoup plus chauds que le reste du corps, les chimistes, appliquant la théorie de Black, ont prétendu, d'après Crawfort, que le sang artériel avait, pour le calorique, une capacité plus grande que le sang veineux. Mais John Davy ayant prouvé que la capacité calorique des deux sangs était presque égale, cette explication est tombée d'elle-même. Nous ne dirons rien de l'hypothèse de M. Broglie, qui a cru, d'après des expériences faites par insufflation, que la respiration refroidissait l'animal; cette proposition a été détruite par les expériences de Legallois, qui prouvent que la température est proportionnelle à la respiration considérée dans ses phénomènes intimes. Nous savons que ni M. Dulong, ni même M. Després, n'ont trouvé la consommation d'oxigène exactement proportionnelle à la chaleur produite. Mais nous croyons qu'il est si difficile d'obtenir des résultats quantitatifs exacts et comparables, dans les expériences sur les animaux, que les objections tirées des résultats de ces expérimentateurs sont, jusqu'à présent, d'une très-faible valeur. D'après ces considérations, nous croyons fort essentiel de fixer d'une manière précise l'explication physique de la production de la chaleur par la respiration, et de démontrer sa suffisance pour l'intelligence des phénomènes.

L'air qui pénètre dans le poumon y subit une altération constante et marquée, qui consiste principalement en ce

que 0,03 à 0,06 de son oxigène disparaissent, tandis qu'ils sont ordinairement remplacés, dans toute respiration naturelle, du moins chez l'homme, par 0,03 à 0,06 d'acide carbonique. Un homme d'une stature ordinaire convertit ainsi, en vingt-quatre heures, au moins 750 décimètres cubes d'oxigène en acide carbonique, ce qui représente 395 grammes de carbone qui ont été convertis en acide carbonique directement ou indirectement. En effet, on a d'abord supposé que tout ce carbone se combinait directement avec l'oxigène de l'air dans les cavités bronchiques. La basse température du poumon ne serait point une objection à cette supposition, puisque le carbone peut se trouver dans le sang, à un tel état de division, que son affinité pour l'oxigène puisse se satisfaire, comme on voit des dissolutions métalliques absorber ce gaz à toutes les températures. Une objection plus forte, c'est la preuve physiologique que l'acide carbonique est exhalé par le poumon, lorsque l'animal respire du gaz hydrogène. Cette question, du reste, n'intéresse pas directement la théorie qui nous occupe, puisque, dans le cas où l'oxigène serait absorbé d'une part, pendant que l'acide carbonique serait exhalé de l'autre, il y aurait nécessairement une égale quantité de calorique dégagé, l'oxigène en abandonnant beaucoup plus dans sa condensation que l'acide carbonique n'en emporte dans sa gazéification.

Lorsque 395 grammes de carbone se combinent avec l'oxigène, il se dégage une certaine quantité de calorique capable de fondre $38^k,118$ de glace, ou d'élever $38^k,118$ d'eau à 75° de température, ou enfin de porter $28^k,588$ d'eau à l'ébullition, = 2858 unités de chaleur. Or, cette quantité de calorique est rationnellement suffisante pour rendre compte de la chaleur animale. En effet, la transpiration moyenne de la peau, en vingt-

quatre heures, n'excède pas 2 kilogrammes, qui, en se réduisant en vapeur, emportent le calorique de près de 12 kilogrammes d'eau à 100°. Il se forme dans le poumon, pendant le même temps, 777 grammes de vapeur qui emportent le calorique de $4^k,662$ d'eau à 100°. Il reste donc, pour répondre aux pertes de calorique du corps par conductibilité ou par rayonnement, tout celui qui pourrait élever près de 12 kilogrammes d'eau à 100°, ou 1200 unités de chaleur.

Il est presque superflu de remarquer que toutes ces évaluations portent sur des termes moyens; mais que s'il arrivait que la transpiration fût accrue, ce ne serait jamais que par suite d'une accélération dans les phénomènes respiratoires, qui produirait nécessairement une quantité de calorique relative à l'accroissement des pertes.

Nous venons de démontrer, par un calcul approximatif, qu'il est permis d'attribuer la chaleur animale à la respiration, et qu'elle peut y suffire; mais les recherches directes et exactes de MM. Dulong et Desprez ne peuvent laisser aucun doute à cet égard. D'après le premier de ces physiciens, les $\frac{7}{8}$ environ de la chaleur produite par un animal, dans un temps donné, étaient directement expliqués par la quantité d'oxigène qui disparaissait, et par la formation de l'acide carbonique et de l'eau; mais sa méthode était susceptible de présenter des pertes en acide carbonique à cause du contact des gaz avec d'assez grands volumes d'eau.

Les expériences de M. Desprez, faites avec beaucoup de soins, répétées un grand nombre de fois dans des appareils d'une beaucoup plus grande exactitude, ont fourni ces résultats remarquables, que 0,90, 0,85, 0,82, 0,86, 0,88, 0,80, 0,74, 0,78, 0,79, 0,77, 0,75, etc., de la chaleur animale dégagée dans un temps donné, se trou-

vaient représentés par le calorique qu'aurait produit, dans une combustion ordinaire, l'oxigène absorbé dans ces différentes expériences, en se combinant soit avec du carbone, soit avec de l'hydrogène, d'où il résulte que les $\frac{9}{10}$ de la chaleur animale se trouvent complétement expliqués par les théories chimiques, ou plutôt par le fait des combinaisons chimiques qui se passent dans le poumon.

Nous ferons remarquer ici que plus les observateurs ont mis d'exactitude dans des recherches si difficiles, sur la quantité de chaleur produite par les animaux, et plus ils se sont approchés d'une coïncidence complète entre la chaleur développée par l'animal et celle qui aurait été produite par une combustion ordinaire.

Il est facile de concevoir que les seules combinaisons chimiques appréciables dans le poumon expliquant les $\frac{9}{10}$ de la chaleur animale, le $\frac{1}{10}$ restant sans cause évidente peut s'expliquer par la multitude de réactions intimes qui se passent dans tous les autres organes du corps. Il n'est pas même impossible qu'une certaine quantité de chaleur soit développée par les frottemens qu'une multitude de parties solides exercent les unes sur les autres dans les mouvemens des animaux.

On voit, par les évaluations précédentes, que le développement du calorique dans le poumon répond aux effets de chaleur qu'on observe dans l'économie animale. Il reste à expliquer comment le poumon, qui serait le foyer de cette production de chaleur, ne présenterait cependant pas une température plus élevée que celle des autres parties du corps. Mais si l'on admet, avec Haller, que le cœur pousse, à chaque contraction, deux onces de sang dans l'aorte, il en résultera que les poumons sont traversés en un jour par 7128 kilogrammes de sang. Or, le calorique représenté par $23^{k},726$ d'eau à 100°, calorique qui peut se dé-

velopper dans le poumon pendant le même temps, déduction faite de la transpiration pulmonaire, ne peut élever cette masse de 7128 kilogrammes de sang que de $\frac{1}{3}$ de degré environ. Il en résulte que le sang veineux refroidi enlèvera facilement, au fur et à mesure, ce petit excès de température, qui se reproduira sans cesse dans l'organe pulmonaire.

On conçoit avec la même facilité l'égale distribution de température dans toutes les parties du corps; car il ne faut pas considérer nos organes comme s'échauffant à la manière des autres corps par simple conductibilité; mais il faut se représenter que le calorique est rapidement transporté par une masse considérable de fluide qui va du poumon à toutes les autres parties du corps, et en revient, plus de trente fois par heure.

Si la principale source de production de chaleur dans l'économie animale dépend de la combinaison du carbone avec l'oxigène, dans un lieu quelconque de l'économie, il est évident que la peau et les organes de la digestion seront aussi des moyens de production de chaleur, car la première absorbe de l'oxigène et dégage de l'acide carbonique; et beaucoup d'expériences démontrent que tout l'oxigène entraîné dans l'estomac par la déglutition disparaît dans la longueur des voies digestives et se trouve remplacé par de l'acide carbonique et du gaz hydrogène.

Nous n'avons pas tenu compte, dans l'exposition précédente, de l'action des organes respiratoires sur l'azote, parce que, quelles que soient les quantités absorbées ou dégagées, elles se compensent ordinairement à peu près, et ne peuvent pas influencer beaucoup la température.

Après avoir prouvé la possibilité de concevoir la chaleur animale par l'absorption de l'oxigène et la formation de l'acide carbonique, il ne sera pas inutile de faire remarquer

que M. Edwards, dans ses nombreuses recherches sur cette matière, a constamment trouvé l'étendue des mouvemens respiratoires et circulatoires, la consommation de l'oxigène et le développement de la chaleur animale, tellement liés entre eux, qu'il est impossible de se refuser à l'idée que les uns sont la cause, tandis que l'autre est l'effet.

Il est essentiel de remarquer que la respiration et la circulation ont pour but, dans le poumon, de mettre le sang et l'air dans des rapports convenables pour réagir l'un sur l'autre; mais que l'apparence extérieure des efforts mécaniques qui produisent ces deux phénomènes est un moyen très-équivoque de reconnaître le degré de leur résultat; car de grands mouvemens inspiratoires peuvent introduire de petits volumes d'air dans la poitrine, et des contractions rapides du cœur peuvent faire circuler la masse du sang avec beaucoup de lenteur. Si l'on ajoute à ces considérations les états variés dans lesquels peut se trouver le tissu même de l'organe pulmonaire, on concevra facilement les dispositions constitutionnelles et les modifications produites par les saisons (Edwards), qui font varier, dans une grande latitude, la faculté dont les animaux jouissent de produire du calorique.

308. *Causes de refroidissement.* Les causes de refroidissement du corps de l'homme sont, en général, au nombre de cinq : nous voulons dire que le calorique peut lui être enlevé par cinq voies différentes, et souvent aussi par des modes très-distincts. En effet, le corps de l'homme peut se refroidir, 1° par la conductibilité ou transmission directe de son calorique à d'autres corps; 2° par la transpiration cutanée dans laquelle l'eau en vapeur emporte le calorique latent; 3° par la transpiration pulmonaire, qui suit le même mode; 4° par l'échauffement de l'air dans les cavités pulmonaires; 5° enfin par le rayonnement.

a. Les pertes de calorique par conductibilité supposent que les corps qui touchent celui de l'homme se trouvent à une température plus basse que lui; c'est ce qui arrive le plus communément; et, parmi ces corps, c'est l'air atmosphérique qui, le plus constamment, est la cause de ce refroidissement.

La perte de calorique par conductibilité est extrêmement limitée, soit chez les animaux, soit chez les hommes, par les influences suivantes : 1° la plupart des animaux dont la température est élevée, sont revêtus d'enveloppes naturelles, qui sont de très-mauvais conducteurs du calorique ; et l'homme, dont la peau est nue, se couvre d'enveloppes artificielles qui jouissent des mêmes propriétés; 2° les parties de la surface du corps qui sont en contact avec un autre corps froid se refroidissent rapidement elles-mêmes : la circulation devient lente ou presque nulle, et par conséquent la communication s'arrête ou devient elle-même très-lente. Par exemple, la peau d'un homme plongé dans un bain froid devient rapidement pâle et presque aussi froide que le bain lui-même; en cet état, elle est presque réduite à la condition d'une membrane inerte, conduisant très-mal le calorique, et servant d'enveloppe au reste du corps.

La seule condition dans laquelle le refroidissement par conductibilité puisse produire de grands effets, est l'exposition à un vent froid; et même encore, dans ce cas, l'accroissement de l'évaporation vient sans doute en augmenter les effets. Le capitaine Pary a remarqué que l'on supportait mieux 36° de froid par le calme, que 18° par un vent vif.

b. La perte de calorique par la transpiration cutanée est la plus considérable. Il importe d'en fixer les conditions.

Il est évident que, dans tous les cas ordinaires, il ar-

rive à la surface de la peau, où il existe dans son tissu une quantité de fluide plus que suffisante pour répondre à l'évaporation possible par toute la surface du corps. Car, dans les circonstances où la chaleur externe porte la transpiration au *maximum*, une sueur abondante couvre le corps, et n'est elle-même qu'un excédant des quantités de liquide qui arrivent à la peau sur celles qui peuvent s'évaporer.

D'après ce que nous venons de dire, il est évident que la transpiration dépend uniquement des circonstances environnantes et de la température de la peau. En conséquence, elle sera accrue par l'élévation de température, par la sécheresse de l'air, par les mouvemens de l'air, par l'échauffement de la peau; elle sera diminuée par l'air froid, par la stagnation de l'air, par l'humidité de l'air et par le refroidissement de la peau.

Il est ici fort important de remarquer que la température de la peau est elle-même dans une dépendance presque absolue de la température de l'air : nous n'entendons pas dire par là qu'elle est la même, mais que la peau s'échauffe et se refroidit dans des limites très-étendues, lorsqu'elle est en contact avec de l'air chaud ou de l'air froid; d'où il résulte que les variétés de la transpiration cutanée se trouvent elles-mêmes proportionnelles aux températures extérieures, sauf les quantités diverses de vapeur d'eau que l'air peut contenir, et qui vont très-rarement jusqu'à la saturation. Si pourtant cette condition existait dans l'air qui environne le corps, la transpiration cutanée semblerait devoir cesser complétement. Il n'en arrive cependant point ainsi, parce que la peau étant généralement plus chaude que l'air dans lequel nous vivons, elle échauffe celui qui la touche et le rend ainsi propre à recevoir de nouvelles vapeurs.

Enfin, la transpiration cutanée peut être supprimée

complétement lorsque le corps est plongé dans un liquide.

c. La transpiration pulmonaire a quelque chose de fixe et de déterminé que ne présentent pas les autres sources de déperdition de chaleur; elle résulte de la transformation en vapeur de liquides exhalés par le poumon. Cette quantité de vapeur est proportionnelle à la température du poumon, qui est à peu près constante, et à l'étendue de l'espace dans lequel elle peut se développer, espace qui est déterminé par les volumes d'air inspiré. Ainsi la transpiration pulmonaire sera proportionnelle aux phénomènes mécaniques de la respiration, lesquels peuvent varier considérablement par l'effet de la volonté, ou par suite d'une sensation intérieure. Il faut remarquer que l'état hygrométrique de l'air inspiré peut modifier la quantité de la transpiration pulmonaire par la quantité de vapeur qu'il contient déjà. Mais cette influence est peu sensible, parce que l'air s'échauffe ordinairement beaucoup en pénétrant dans le poumon.

d. Les volumes d'air introduits dans le poumon par la respiration se trouvent ordinairement à une température plus basse que celle du poumon, s'y échauffent, et en emportent conséquemment du calorique, dont la quantité, peu considérable il est vrai, se trouve proportionnelle aux phénomènes mécaniques de la respiration.

En considérant ces deux dernières causes de refroidissement dans leur réunion, on voit que les phénomènes mécaniques de la respiration présentent un double moyen de refroidissement, ce qui justifie en quelque sorte l'opinion des anciens, et nous explique en même temps l'erreur de M. Broglie, qui a vu des animaux décapités, dans lesquels il entretenait la vie par insufflation dans la poitrine, se refroidir plus vite que ceux qu'il abandonnait; car il faut remarquer que les phénomènes intimes de la respira-

tion, d'où peut dépendre la production de la chaleur, ne sont nullement proportionnels aux phénomènes mécaniques, puisqu'ils dépendent simultanément de la circulation et de l'état du parenchyme pulmonaire.

c. Le rayonnement est une cause de déperdition de calorique qui dépend de la différence de température entre le corps de l'homme et ceux qui l'entourent.

Il est proportionnel à la température de la peau et modifié par sa couleur; il est, par conséquent, beaucoup plus considérable chez les nègres que chez les blancs; il est presque complétement détruit par les vêtemens, de quelque nature qu'ils soient, surtout quand ils ne touchent pas immédiatement la peau.

309. *De la température fixe dans les animaux.* — Après avoir établi les causes qui peuvent produire du calorique dans l'économie animale, et les différens modes de déperdition de ce calorique, il est important d'examiner si ces actions opposées sont soumises à de telles influences réciproques, qu'elles puissent ordinairement se compenser et produire dans chaque animal, suivant sa constitution, une température à peu près fixe. Et d'abord il convient d'examiner si réellement cette fixité de température existe, ou jusqu'à quel degré elle existe.

Les physiologistes ont établi, d'une manière beaucoup trop absolue, la propriété des animaux de conserver en eux une température déterminée, malgré les variations de celle qui les environne. On a été jusqu'à dire, sur le rapport de quelques voyageurs, que des animaux à sang froid vivaient dans des eaux thermales sans s'échauffer. Il suffit cependant de la plus simple observation pour nous démontrer que les animaux peuvent se refroidir ou s'échauffer: les extrémités de nos membres nous en fournissent tous les jours la preuve. Et si le changement de température

ne pénètre pas jusque dans l'intérieur, c'est que d'une part nous sommes capables de produire du calorique, et que de l'autre nous sommes susceptibles d'en perdre, par la transpiration, des quantités plus ou moins grandes. Au reste, les expériences directes de MM. Berger et Delaroche ne laissent aucun doute sur ce point, car ils ont constaté : 1° qu'un animal vivant et un animal mort se refroidissaient et s'échauffaient autant et aussi vite l'un que l'autre, lorsque tous deux étaient plongés dans l'eau; 2° qu'une éponge mouillée, un *alcarazas* et un animal vivant susceptible de transpirer, se comportaient de la même manière dans une étuve; que tous trois perdaient de leur poids par évaporation; que tous trois restaient à une température bien inférieure à celle de l'étuve; observant toutefois que l'animal se trouvait toujours *un peu plus échauffé* que les corps inertes, à cause du calorique qui se produit en lui-même, en sus de celui dont il est environné; 3° enfin, que l'homme lui-même éprouvait une élévation de température notable dans une étuve.

S'il est vrai que les animaux sont tout aussi susceptibles que les corps bruts de se mettre en équilibre de température, il faut observer qu'ils ne le peuvent que dans de certaines limites, attendu que la mort survient aussitôt que les organes intérieurs et importans sont élevés de quelques degrés au-dessus de leur température ordinaire, ou refroidis dans la même proportion. Le danger de mort étant précédé de sensations et de troubles plus ou moins pénibles, détermine promptement l'animal à sortir de la situation fâcheuse où il se trouve, soit par des mouvemens automatiques, soit par des actions combinées, qui ont pour but de le refroidir quand sa température s'élève, ou de le réchauffer dans le cas contraire.

La nature a fourni aux animaux des enveloppes con-

conservatrices de la chaleur, et dans de justes rapports avec les climats qu'ils habitent, et même avec la diversité des saisons. Ils peuvent en outre y ajouter par quelques précautions instinctives. C'est ainsi que les moutons se pressent les uns contre les autres, et que le chien se tapit à l'abri du vent; tandis que, d'une autre part, la sensation du froid les porte à un exercice violent qui accélère la circulation et les mouvemens respiratoires. Il paraît même (Edwards) que l'action prolongée du froid rend la constitution plus apte à produire du calorique.

Les causes de refroidissement sont beaucoup moins soumises à la volonté, mais aussi beaucoup plus efficaces; en sorte qu'il y a dans notre économie tout ce qu'il faut pour résister spontanément à une grande élévation de température. Banks, Blagden et Fordys ont supporté quelques instans la température d'un four chauffé à sec au-dessus de 110°; mais ils étaient couverts de sueur; la peau et le poumon étaient le siége d'une rapide évaporation, et malgré cela leur température interne s'élevait assez pour rendre les battemens du cœur excessivement rapides et causer de l'oppression et des vertiges; en sorte que quelques minutes de plus auraient certainement causé la mort des expérimentateurs.

Ce qui prouve que la transpiration est ici la seule cause qui retarde l'échauffement réel du corps, c'est qu'il est impossible de supporter une semblable chaleur dans une atmosphère saturée d'eau, dont la présence diminue l'évaporation, et qu'aucun homme ne peut rester, même quelques instans, dans un bain liquide à 40°, parce que, dans ce dernier cas, la transpiration cutanée ne peut plus s'échapper à l'état de vapeur.

Il demeure donc démontré, 1° que la température des animaux n'est point fixe, et qu'il n'y a rien en eux qui s'op-

pose aux acquisitions ou aux pertes de calorique; 2° qu'ils résistent au refroidissement par la production intérieure d'une certaine quantité de calorique; 3° qu'ils résistent à l'élévation de température par les cinq modes que nous avons indiqués, et principalement par les deux transpirations.

Indépendamment des propositions absolues que nous venons d'énoncer, il reste constant que l'homme, environné de températures très-différentes, par exemple, dans l'été ou dans l'hiver de nos climats, conserve une température moyenne centrale qui lui est propre, et qui diffère plus ou moins de celle des autres animaux. Il est facile d'expliquer ce phénomène, après avoir réduit, comme nous l'avons fait, la fixité réelle aux organes du centre, et surtout en tenant compte des effets marqués que produisent les plus petits changemens de température sur l'exécution de nos fonctions. En effet, supposons un homme nu, plongé dans une atmosphère à 10° au-dessous de 0°; toute la surface de sa peau et ses organes superficiels se refroidiront rapidement, en sorte que la transpiration cutanée sera promptement réduite au *minimum*, et dès lors la production intérieure de calorique n'aura plus à répondre qu'aux pertes par rayonnement et par conductibilité. Néanmoins, si cette situation se prolongeait, le refroidissement s'étendrait aux organes les plus profonds, et ne tarderait pas à produire une mort précédée d'un affaiblissement général et d'une grande propension au sommeil.

Si, par opposition, nous supposons un homme plongé dans une atmosphère à 50°, la peau s'échauffera rapidement, et la transpiration s'accroîtra en proportion. Mais si l'action de la chaleur persiste trop long-temps, les organes intérieurs s'échaufferont enfin, et il en résultera une mort précédée de vertiges, d'éblouissemens, de syncope, etc.

Puisque le refroidissement extérieur tend à diminuer la principale cause de refroidissement de l'économie, et que la chaleur extérieure tend à l'accroître, il est facile d'imaginer, non pas cette fixité absolue supposée par les physiologistes, mais cette fluctuation continuelle de température des différentes parties du corps entre des limites assez étendues. Quant aux organes internes, l'exécution de leurs fonctions est fortement altérée par les plus légers changemens de température, et produit des sensations qui portent l'animal à employer tous les moyens possibles pour les prévenir, à défaut de quoi la mort survient nécessairement.

Il est intéressant de remarquer ici que l'homme, en particulier, n'a, dans son état naturel, que des moyens très-bornés de résister aux effets du froid, tandis qu'il est éminemment propre à résister aux effets d'une température élevée, ce qui démontre qu'il est indigène des climats chauds ou tempérés.

Les médecins font, à la théorie que nous venons d'exposer, un grand nombre d'objections tirées de l'état morbide de nos organes. Il nous suffira de citer les principales, pour démontrer qu'elles se résolvent par une juste application de nos principes.

Les phthisiques ont souvent la presque totalité de la poitrine hors d'état de servir à la respiration. Cette fonction est réduite à très-peu de chose, et cependant la chaleur animale est plutôt accrue que diminuée; le contraire devrait arriver si la respiration était la source de la chaleur.

Chez ces individus la peau est amincie, aride et souvent terreuse, ce qui indique que la transpiration cutanée est considérablement diminuée; la transpiration pulmonaire est réduite presque à rien, à cause des petits volumes d'air qui pénètrent dans la poitrine. Dans cet état, les causes

variables qui balancent ordinairement la production de la chaleur n'existent presque plus ; et, quelle que soit la petite quantité de chaleur produite, elle peut suffire aux déperditions, et même devenir excédante, sans que les moyens ordinaires s'y opposent. Aussi les phthisiques, d'une part, ne peuvent supporter le moindre abaissement de température, parce qu'ils ne sauraient réparer cette perte, et de l'autre éprouvent une chaleur interne très-vive à la moindre circonstance qui accroît un peu la production du calorique, parce qu'ils sont privés des moyens de se délivrer de cet excès de chaleur.

L'homme sain, qui respire et transpire librement, vit dans un état continuel de fluctuation de température; ses organes sont incessamment traversés par une grande quantité de calorique qui en excite et en favorise les fonctions. Il est capable de résister aux plus grandes mutations extérieures, soit par une abondante transpiration, soit par une circulation plus active.

Le phthisique, au contraire, se trouve dans un état de fixité qui n'est plus en rapports avec la mobilité des températures extérieures; il a toujours trop chaud ou trop froid; ses organes, privés de ce grand mouvement de calorique qui constitue presque la vie, languissent et tombent dans l'atonie. Et si, dans la chaleur artificielle du lit, et par suite d'un mouvement fébrile, un peu d'eau est porté à la surface de la peau, elle y arrive liquide, elle y découle en gouttes, et, n'étant point réduite en vapeur, elle n'emporte pas le calorique latent, qui est la principale source de refroidissement par la transpiration.

On voit que, loin que l'état des phthisiques soit une objection à la théorie de la chaleur animale, on n'aura jamais une médecine raisonnable de ces sortes d'affections,

et de toutes celles qui ont un certain rapport avec la transpiration et la respiration, tant qu'on ne se donnera pas la peine d'appliquer aux phénomènes de la santé et de la maladie les connaissances positives que fournissent la physique et la chimie.

On insiste et l'on demande comment un organe peut devenir beaucoup plus chaud qu'un autre, si la calorification est un phénomène central qui se passe dans le poumon, et comment le lieu d'une inflammation fait éprouver au malade et à la main de l'observateur la sensation d'une vive chaleur, tandis que le thermomètre indique à peine une élévation de température.

Nous répondons que le cœur est aussi l'organe central de la circulation; que, cependant, le sang artériel peut aborder ou séjourner en plus grande quantité dans un organe que dans un autre; qu'il doit en même temps y apporter plus de calorique et y déterminer une transpiration plus abondante; que si la chaleur inflammatoire était un effet local, elle pourrait quelquefois s'élever au-dessus de la température du sang artériel, tandis que nous nous sommes assurés que cela n'arrive jamais.

Quant à la sensation de chaleur, qui n'est pas d'accord avec les effets sur le thermomètre, cette différence est une suite naturelle de ce que les organes sont aussi sensibles au passage du calorique qu'à son accumulation; en sorte qu'un point enflammé qui reçoit et perd, dans un temps donné, beaucoup plus de calorique qu'un autre, peut éprouver et transmettre une vive sensation de chaleur, quoique sa température n'ait pas varié.

Voyez Mémoire sur les Phénomènes de chaleur dans les êtres organisés (*Revue médicale*. Décembre 1826).

LIVRE SIXIÈME.

DE L'ÉLECTRICITÉ.

310. Nous avons reconnu, dans la matière en général, des propriétés constantes; mais nous avons aussi reconnu, dans les différentes espèces de corps, des propriétés particulières dépendantes de leur état; nous avons observé en outre un certain nombre de causes capables de mettre ces corps en mouvement pour produire un phénomène. L'attraction et le calorique ont été examinés comme causes agissant incessamment sur la matière, en sorte que tous les phénomènes qu'elle présente sont plus ou moins influencés par l'une et par l'autre. Nous devons maintenant remarquer qu'il existe dans la nature un grand nombre de mouvemens ou de phénomènes qui paraissent entièrement étrangers à l'attraction et au calorique considérés comme causes. C'est ainsi qu'un morceau d'ambre, un tube de verre ou un bâton de résine, deviennent, dans certaines circonstances, capables d'attirer ou de repousser avec force les petits corps qui sont placés dans leur voisinage. C'est ainsi qu'un corps situé à une grande distance de nos organes agit sur eux de manière à nous procurer des notions plus ou moins exactes sur l'existence de sa forme et de sa couleur. Il était nécessaire d'admettre des causes particulières pour

ces effets distincts, et on leur a donné le nom d'*électricité* et de *lumière*.

L'électricité est connue par ses effets les plus simples, depuis une très-haute antiquité ; son nom même est celui que les Grecs donnaient à l'ambre jaune, la première de toutes les substances dans lesquelles on ait reconnu la propriété d'attirer les petits corps après avoir été frottées. Longtemps cette première notion a été réduite à un fait isolé. Mais sous l'empire de la méthode d'observation, les circonstances de cette action se sont étendues et multipliées au point de fournir, sous le nom de *Théorie de l'électricité*, une branche importante de la physique générale.

Plus récemment encore, les importantes découvertes de Galvani ont fait connaître un nouveau mode d'action, qui a d'abord été expliqué par l'existence d'un fluide nommé *galvanique*, et dont l'identité avec l'ancienne électricité n'a pas tardé à être reconnue.

Enfin, dans ces derniers temps, la théorie des attractions et des répulsions que le fer et plusieurs métaux peuvent produire d'une manière constante dans certains états particuliers, et qu'on attribuait jusque là à un *fluide magnétique*, est venue se ranger, par suite des travaux de MM. OErstedt et Ampère, dans la catégorie des phénomènes électriques.

Quelque similitude de cause, et quelque analogie théorique qui puissent exister entre les trois ordres de phénomènes que nous venons d'indiquer, ils n'en restent pas moins fort distincts par le mode de leur production et leurs caractères généraux. En conséquence, nous nous occuperons successivement, dans autant de chapitres, 1° de l'électricité proprement dite, ou anciennement connue; 2° de l'électricité galvanique; 3° des phénomènes de l'aimant.

CHAPITRE PREMIER.

DE L'ÉLECTRICITÉ PROPREMENT DITE.

311. Le phénomène électrique le plus anciennement connu est aussi le plus important à bien étudier, et, en quelque sorte, le phénomène fondamental de toute cette branche de la physique. Les plus anciens naturalistes avaient observé qu'un morceau d'ambre, légèrement frotté par la main sèche, ou mieux sur une étoffe de laine, acquérait la propriété d'attirer à lui les petits corps placés dans son voisinage, tels qu'un brin de paille ou des grains d'une poussière quelconque. On a vu depuis que le diamant, toutes les pierres précieuses, le cristal de roche, le verre, le soufre et toutes les substances résineuses, jouissaient de la même propriété. Il paraît même qu'en combinant l'action d'une légère chaleur avec le frottement, tous les corps de la nature, excepté les métaux, sont susceptibles de contracter cette propriété ; encore observe-t-on que les métaux ne paraissent privés de cette faculté que parce qu'ils perdent la propriété électrique à mesure qu'on la leur communique.

On n'a pas tardé à remarquer que les petits corps attirés dans le premier moment, étaient souvent, immédiatement après, repoussés avec la même force ; et quand on a eu suspendu à un fil une petite boule légère de liége ou de moelle de sureau, il a été facile de s'apercevoir que cette boule, attirée d'abord par un morceau de verre électrique, en était immédiatement repoussée, tandis que, dans ce

nouvel état, elle était attirée par un morceau de résine électrique ; ce qui a fait comprendre que l'état particulier, résultant du frottement dans les différens corps, n'était pas toujours le même, et qu'il y avait deux modes différens d'électrisation, dont l'un appartenait le plus souvent au verre, et l'autre à la résine.

En agissant sur des masses de résine ou de verre un peu considérables, par exemple, en frottant un globe de verre ou faisant tourner une glace circulaire entre des coussins, on a pu reconnaître d'autres effets généraux résultant de l'état électrique : on a vu qu'il se développait une odeur particulière analogue à celle du phosphore ; que les corps frottés devenaient lumineux dans l'obscurité; qu'il s'en échappait souvent des aigrettes lumineuses. On a entendu un bruit ou pétillement particulier résultant des mouvemens de friction ; on a vu des étincelles s'échapper des corps frottés, pour se porter sur des corps voisins; on a senti une sorte de souffle ou de frémissement particulier en approchant la main ou le visage des corps électrisés; enfin les étincelles, que l'on est parvenu à rendre très-fortes par des moyens que nous indiquerons plus tard, ont alors produit sur l'économie animale des commotions violentes, sont devenues capables d'enflammer des corps combustibles, et même de fondre des métaux.

Les physiciens, témoins de phénomènes aussi remarquables, ont dû chercher à s'en rendre compte en les rattachant à une cause commune.

On a d'abord supposé qu'il existait dans la nature un fluide généralement répandu, que l'on a nommé *fluide électrique*. On lui a supposé la propriété de tendre à se mettre en équilibre entre tous les corps, et cependant de se partager inégalement entre les corps frottés, de manière que l'un en contînt moins, et l'autre davantage, par suite

de ce frottement ; on expliquait ainsi, sous les noms d'*état positif* et d'*état négatif*, les deux modes d'électrisation du verre et de la résine; on admettait enfin que deux corps positifs se repoussaient aussi bien que deux corps négatifs, tandis qu'un corps chargé d'un excès d'électricité attirait celui qui en contenait moins, et réciproquement. La terre était considérée comme un *réservoir commun*, dont la grande masse rendait l'état électrique sensiblement fixe, en sorte qu'on pouvait lui en prendre ou lui en donner indéfiniment, sans faire changer son état. Ce système, imaginé par Epinus, et développé par Franklin, est devenu insuffisant après la découverte d'un grand nombre de faits nouveaux; Dufay et Coulomb lui ont substitué celui qui est maintenant adopté.

DES DEUX FLUIDES ÉLECTRIQUES.

312. On explique maintenant d'une manière satisfaisante tous les phénomènes électriques, en supposant qu'il existe dans tous les corps de la nature un fluide composé, qu'on appelle *naturel*, et dont la présence ne s'annonce par aucun phénomène particulier; en admettant que ce fluide est composé de deux élémens qui se saturent réciproquement, mais qui prennent des caractères électriques très-prononcés aussitôt que l'un se trouve en excès par rapport à l'autre. On a donné les noms de fluides *vitré* et *résineux* à ces deux élémens, parce que le plus souvent le verre et la résine contractent, par le frottement, des propriétés électriques contraires. Il faudrait pourtant se garder de considérer ces mots comme l'expression d'un fait général; car le verre dépoli contracte l'électricité résineuse par le frottement, et réciproquement la résine peut être chargée d'électricité vitrée.

On explique les attractions et les répulsions en admettant que les deux fluides s'attirent réciproquement, tandis que les particules d'un même fluide se repoussent. Enfin, on voit, dans toutes les actions qui développent de l'électricité, une décomposition plus ou moins considérable du fluide naturel, dont la terre présente toujours le réservoir commun, et dans la cessation des propriétés électriques, la recomposition du fluide naturel. On est même porté à croire que ce fluide naturel n'est autre chose que le calorique.

LOIS DES ATTRACTIONS ET RÉPULSIONS ÉLECTRIQUES.

313. Deux corps dans l'état naturel ne présentent aucun phénomène particulier d'attraction ou de répulsion.

Si un corps est électrisé d'une manière quelconque, il attire un autre corps dans l'état naturel.

Si deux corps sont électrisés de la même manière, ils se repoussent.

Si deux corps sont électrisés l'un vitreusement, l'autre résineusement, ils s'attirent.

Si deux corps qui s'attiraient viennent à se toucher, ils se repoussent immédiatement après.

Ces phénomènes sont faciles à constater en employant de petites boules de moelle de sureau suspendues à des fils de soie, et auxquelles on communique à volonté l'une ou l'autre électricité en les touchant, soit avec un cylindre de verre, soit avec un cylindre de résine, bien secs et frottés avec un morceau de drap.

Ces phénomènes d'attraction et de répulsion se conçoivent parfaitement dans le système des deux fluides, comme nous le dirons en parlant des influences électriques à

distance; leur intensité dépend de la tension électrique, comme nous le dirons encore en parlant de l'accumulation de l'électricité dans les corps.

Quelles que soient la cause et l'intensité des attractions et des répulsions, elles s'exercent suivant des lois qui ont été déterminées avec beaucoup de précision par Coulomb. Il faut d'abord remarquer que les puissances ainsi développées dans les corps électrisés sont très-considérables, et, par exemple, qu'elles l'emportent souvent de beaucoup sur la pesanteur. Coulomb a d'ailleurs constaté *qu'elles agissaient exactement en raison inverse du carré de la distance qui sépare les corps.* Il est parvenu à cette démonstration au moyen de la balance de torsion que nous avons décrite (157). En effet, lorsqu'un disque de papier doré est placé à l'une des extrémités du levier de cette balance, si on lui présente un petit corps électrisé d'une manière quelconque, il en sera d'abord attiré, le touchera, et s'en écartera ensuite en décrivant un arc plus ou moins considérable, et produisant dans le fil suspenseur une torsion relative. Mais si, dans cet état, on veut forcer le disque à se rapprocher du petit corps électrisé à une distance moitié moindre, il faudra faire éprouver au fil une torsion quatre fois plus considérable que celle qu'il éprouvait précédemment, ce que l'on connaîtra facilement au moyen du cadran placé à la partie supérieure de la machine. Les mêmes phénomènes ayant lieu dans un ordre inverse lorsque les deux corps s'attirent, il en résulte que les attractions et les répulsions électriques suivent la même loi que l'attraction générale.

Coulomb est encore arrivé à la même démonstration par un moyen moins direct, mais peut être plus élégant et plus susceptible d'une exactitude rigoureuse.

Si l'on suspend à un fil de cocon de ver à soie un petit

levier transversal, portant à une de ses extrémités un petit corps solide et à l'autre un petit disque de papier destiné à rendre les oscillations plus lentes par la résistance de l'air, mais de manière à ce que le tout soit en équilibre, et si l'on place un petit corps électrisé à une certaine distance de la petite boule qui termine le levier, cette petite boule en sera attirée, le levier prendra une force directrice, et on ne pourra pas le déranger de sa situation sans qu'il tende à y revenir, et produise des oscillations qui pourront être comptées avec exactitude pendant une minute, par exemple. Or nous savons que les forces qui sollicitent un pendule ont des intensités proportionnelles au carré des nombres d'oscillations qu'elles déterminent dans ce pendule; en conséquence Coulomb, en plaçant le corps électrisé à différentes distances de son petit pendule et en comptant les oscillations dans ces différens cas, a pu démontrer que l'intensité de l'attraction électrique était inversement proportionnelle au carré des distances.

CORPS CONDUCTEURS ET NON CONDUCTEURS.

314. Tous les corps de la nature paraissent susceptibles de contracter les états électriques dont nous avons parlé; mais ils diffèrent essentiellement sous le rapport de la faculté de conserver cet état. Si l'on tient à la main un tube de verre et qu'on le frotte avec un morceau de drap, il deviendra électrique et conservera long-temps cette propriété, s'il est plongé dans un air sec. Si l'on tient et que l'on frotte de la même manière une tige de métal, il ne s'y développera aucune électricité apparente, parce que celui des deux fluides qui aura été isolé quittera immédia-

tement le corps frotté, et ira se perdre dans le réservoir commun. La preuve que cela est ainsi, c'est qu'il suffit de fixer la tige métallique au moyen d'un manche de verre, pour qu'elle s'électrise et conserve son électricité lorsqu'on la frappe ou qu'on la frotte.

D'après ces observations, et beaucoup d'autres que nous aurons lieu de développer, on a divisé les corps naturels en *conducteurs* et *non conducteurs*. On a encore nommé les corps non conducteurs *idio-électriques*, parce qu'ils semblent pouvoir s'électriser d'eux-mêmes, tandis que les corps conducteurs ont été nommés *anélectriques*. Haüy se contente de distinguer les *corps conducteurs* et *isolans*.

Les métaux sont tous de très-bons conducteurs de l'électricité; après eux viennent les liquides, en exceptant ceux qui sont combustibles.

La faculté d'isoler, ou la non-conductibilité, ne paraît exister dans aucun corps d'une manière absolue. Le spath d'Islande et la topaze blanche occupent le premier rang sous ce rapport. Viennent ensuite la gomme-laque et la cire à cacheter; en troisième rang le quartz et le verre; et enfin toutes les matières résineuses, et presque tous les corps combustibles.

La promptitude avec laquelle les métaux conduisent l'électricité est telle, qu'on n'observe jamais un intervalle sensible entre le moment où l'on électrise une des extrémités d'un fil métallique, et le moment où son autre extrémité donne des signes d'électricité, quelque long que soit d'ailleurs le trajet, et l'expérience a été répétée sur des fils d'une lieue.

Nous ferons remarquer ici que la propriété conductrice ne dépend pas seulement de la nature du corps, mais aussi d'un certain rapport entre son volume et la quantité d'é-

lectricité qui le traverse ; en sorte qu'un fil métallique très-fin peut devenir un conducteur insuffisant pour une grande quantité de fluide électrique.

CHARGE ÉLECTRIQUE D'UN CONDUCTEUR.

315. Lorsqu'un corps conducteur, comme un cylindre de cuivre, par exemple, est porté sur un pied de verre enduit de résine ou de gomme-laque, il se trouve isolé, et l'on peut, à l'aide de différens moyens que nous indiquerons bientôt, le charger d'une quantité d'électricité vitrée ou résineuse, plus ou moins considérable, en supposant toutefois que l'atmosphère qui l'environne soit sèche ; car la vapeur vésiculaire est un très-bon conducteur de l'électricité, et par conséquent l'air humide permet à l'électricité de s'échapper et de se porter dans le réservoir commun. Il est très-important d'examiner dans quel état se trouve un tel conducteur chargé d'électricité, quelle partie du corps elle occupe, quelles sont les forces qui la sollicitent, et comment elle se trouve répartie.

Dans un conducteur électrisé, tout le fluide électrique est situé à la surface du corps. Cette disposition est une conséquence rationnelle de la force de répulsion qui anime toutes les particules du fluide. On peut, du reste, en acquérir une preuve directe. Si l'on électrise une sphère de métal creuse et percée d'un trou, il sera facile de s'assurer que sa surface interne ne présente aucun caractère électrique ; car si l'on introduit dans l'intérieur de la sphère une petite boule de métal isolée par un manche de verre, et qu'on lui fasse toucher la face interne, en la retirant ensuite, elle n'exercera aucune action sur une boule de moelle de sureau suspendue à un fil ; tandis que, si on

lui a fait toucher la surface externe, elle montrera tous les caractères de l'électricité dont le conducteur est chargé.

Si la répulsion des particules explique le transport complet de l'électricité à la surface externe du corps, il reste à concevoir pourquoi l'électricité s'y arrête et s'y accumule. La pression atmosphérique est la seule cause à laquelle on puisse attribuer cette accumulation ; et en effet, il est impossible de charger un conducteur enfermé dans un espace vide, attendu que l'électricité s'en échappe continuellement à mesure qu'on la fournit, pour se porter sur les corps voisins.

Il résulte de ce que nous venons de dire, que l'électricité forme à la surface des corps conducteurs une couche plus ou moins épaisse, sollicitée d'une part à se répandre dans l'espace par une sorte de force centrifuge, et contenue d'autre part au moyen de la pression atmosphérique. Cet état de choses doit donner lieu à des équilibres variés entre ces deux forces opposées, et à des phénomènes de mouvement, dans le cas où la force d'expansion l'emporte sur la pression atmosphérique. En effet, si le corps est sphérique, il résulte des propriétés mêmes de cette forme que l'électricité sera uniformément répandue dans tous les points de la surface du corps, et que sa tension sera partout la même. On démontre, au contraire, que lorsque le corps prend une forme allongée, l'accumulation et la tension électrique s'accroissent vers les extrémités, en diminuant sur les parties latérales, au point que, lorsque le conducteur est terminé par une pointe aiguë, la tension électrique peut être considérée comme infinie à l'extrémité de la pointe, relativement à la résistance de l'air.

Les machines que nous possédons nous permettant d'ac-

cumuler dans un conducteur des quantités indéfinies d'électricité, et d'en accroître ainsi progressivement la tension, tandis que la résistance de l'air demeure constante, il est évident qu'à une certaine époque l'électricité devra s'échapper de la surface du corps, malgré la résistance de l'air : c'est ce qui arrive en effet, et il en résulte ce pétillement et ces aigrettes lumineuses qui se produisent autour d'un conducteur surchargé. Mais on conçoit que ces phénomènes se produiront de préférence aux extrémités des conducteurs allongés ; qu'il sera même impossible de charger d'électricité ceux qui seront terminés par une pointe, puisque la plus faible tension deviendra assez considérable, à l'extrémité de cette pointe, pour vaincre la résistance de l'air.

De Laplace a déterminé la condition exacte de l'existence de l'électricité à la surface d'un corps. Voici sa théorie :

Il faut admettre que l'électricité forme autour du conducteur une couche plus ou moins épaisse, dont la surface externe se confond avec la surface même du corps que l'air touche, tandis que son épaisseur est dans la substance du corps où l'on admet que ce fluide se meut librement ; il faut supposer que les particules ont une force centrifuge, mais point d'élasticité ; dès lors la couche entière tendra à s'écarter du centre du corps en proportion de l'épaisseur de cette couche.

Mais d'un autre côté, si l'on décompose par la pensée cette couche en plusieurs lames concentriques, on trouvera, 1° que la couche la plus externe sera poussée au-dehors avec une force proportionnelle à l'épaisseur de la couche ; 2° que les couches internes seront en équilibre par rapport à l'action des couches externes, mais qu'elles auront chacune leur force centrifuge propre qui s'ajoutera à celle de la couche externe ; or, comme le nombre de

ces couches est lui-même proportionnel à l'épaisseur totale de la couche électrique, on en conclut que la force avec laquelle l'électricité tend à s'échapper de la surface d'un corps est proportionnelle au carré de l'épaisseur de la couche électrique, ce qui explique comment cet effort devient si puissant à l'extrémité d'une pointe. On peut en effet considérer une pointe comme l'extrémité d'un ellipsoïde très-allongé; l'épaisseur de la couche électrique est dans le même rapport que les deux axes de cet ellipsoïde, et la force répulsive comme le carré de cette épaisseur. Si, par exemple, le petit axe est égal à 1, et le grand égal à 100, les épaisseurs seront, 1 sur le côté et 100 à l'extrémité; mais alors les forces répulsives seront 1 et 10,000.

Le voisinage d'un autre corps qui n'est point électrique, ou qui est électrisé d'une manière opposée, modifie considérablement la disposition de l'électricité autour d'un conducteur : en effet, cette électricité étant fortement attirée par celle du corps voisin, vient s'accumuler dans le point de la surface du conducteur qui correspond à ce corps, et sa tension s'accroît proportionnellement dans ce lieu, tandis qu'elle diminue partout ailleurs. On remarque que les pétillemens et les aigrettes dont nous avons parlé se produisent de préférence du côté des corps les plus voisins. Il peut même arriver que la tension, devenant très-considérable, l'emporte tout à coup sur la pression atmosphérique, et que l'électricité, franchissant l'intervalle qui sépare les deux corps, se porte de l'un vers l'autre en produisant ce qu'on nomme une *étincelle électrique*, c'est-à-dire une sorte d'explosion accompagnée de lumière et de chaleur.

316. *Des pointes.* — Nous venons de voir qu'un conducteur terminé par une pointe ne peut pas acquérir de charge électrique, parce que la tension est toujours très-

considérable à l'extrémité de cette pointe. Mais les phénomènes ne sont pas absolument semblables lorsque le conducteur est chargé d'électricité vitrée ou résineuse. Dans le premier cas, en faisant l'expérience dans l'obscurité, on voit partir de la pointe une grande aigrette lumineuse; dans le second, on n'aperçoit qu'un seul point brillant, et cette différence était un des plus forts argumens en faveur du système de Franklin, puisque, dans le cas de l'électricité en plus, le fluide devait se répandre dans l'atmosphère, tandis que, dans le cas d'électrisation négative, la pointe devait, au contraire, recevoir de l'atmosphère. Il faut convenir que, dans le système des deux fluides, cette grande différence s'explique mal; on pense que le fluide résineux éprouve plus de résistance de la part de l'air que le fluide vitré.

Les effets de la pointe ne se bornent point à émettre ainsi le fluide électrique : l'air placé au-devant de cette pointe semble être mis en mouvement par le fluide électrique; et il en résulte une espèce de souffle que l'on sent très-bien à la surface de la peau, et qui peut même produire des rides sur un vase plein d'eau.

Non-seulement les pointes facilitent la déperdition de l'électricité d'un conducteur, mais elles semblent aussi faciliter son introduction dans un autre; et si l'on présente une pointe à un conducteur chargé, on lui aura bientôt enlevé toute l'électricité qu'il contenait, sans étincelle et sans bruit. Nous verrons que la théorie des influences électriques à distance rend parfaitement compte de ces phénomènes.

Une dernière observation sur les effets des pointes, c'est que, lorsqu'on en réunit plusieurs, elles produisent moins d'effet qu'une seule, et c'est une suite naturelle de la répulsion qu'exercent réciproquement les

uns sur les autres les fluides de même nature qui s'en échappent.

CHARGE ÉLECTRIQUE D'UN CORPS NON CONDUCTEUR.

317. Les corps isolans qui ne conduisent pas l'électricité présentent des phénomènes très-différens de ceux que nous venons d'exposer. Il semble que le fluide électrique qui s'y développe, ou qu'on peut leur communiquer, soit, en quelque sorte, fixé autour de chacune des molécules du corps, en sorte que tout ce que nous avons dit des effets de la tension et de la compression de l'air dans les corps conducteurs n'est applicable aux non conducteurs qu'en considérant chacune de leurs parties comme indépendante de toutes les autres. Si l'on prend un plateau de résine, et qu'on l'électrise fortement par les moyens convenables, on pourra reconnaître dans toute sa surface une tension électrique considérable. Mais si l'on touche un de ses points avec l'extrémité du doigt ou tout autre conducteur, il en sortira une très-petite étincelle; le point touché aura perdu son état électrique, pendant que tous les autres points l'auront conservé, et l'indépendance de ces différens points est tellement complète, que les uns pourront prendre et conserver l'électricité vitrée, et d'autres l'électricité résineuse, sans que ces deux fluides puissent se joindre et s'unir, comme nous aurons l'occasion de le prouver en parlant de la bouteille de Leyde.

Les corps non conducteurs ne se comportent pas exactement comme les corps conducteurs lorsqu'on fait le vide autour d'eux. Il faut un temps considérable pour qu'ils perdent la totalité de leur électricité, ce qui semble prouver qu'ils exercent une attraction assez forte sur les

particules du fluide électrique, tandis qu'il est démontré que les corps conducteurs n'en exercent aucune; une autre preuve de cette vérité importante résulte d'un fait que nous aurons occasion d'étudier en détail, savoir, que si dans certains cas, l'on électrise en même temps une lame conductrice et une lame non conductrice appliquées l'une sur l'autre, au moment de leur séparation toute l'électricité demeurera adhérente à la surface de la lame non conductrice.

INFLUENCES ÉLECTRIQUES A DISTANCE.

318. Quoique l'électricité paraisse fixée en couches minces à la surface des corps qui en sont chargés, elle exerce néanmoins des influences considérables à d'assez grandes distances. La théorie de ces influences étant nécessaire à l'intelligence de presque tous les phénomènes électriques, nous l'exposerons avec quelques détails.

Supposons (*fig.* 123) un conducteur A, c'est-à-dire un cylindre de cuivre terminé par des sphères et porté sur une colonne isolante. Admettons que ce conducteur ait été chargé, par un moyen quelconque, d'électricité vitrée. Si l'on place dans son voisinage un autre conducteur B, disposé de la même manière, mais non électrisé, au moment du rapprochement le conducteur B donnera immédiatement des signes d'électricité. Son extrémité C montrera de l'électricité résineuse, et son extrémité D de l'électricité vitrée. Il sera facile de s'en assurer, car si l'on suspend à ses extrémités deux boules de moelle de sureau, celle de l'extrémité C sera repoussée par un morceau de résine électrique, ce qui indique le même genre d'électricité, tandis que la boule de l'extrémité D sera attirée par le bâton de résine, ce qui indique une électricité con-

traire. Si, pourtant, sans avoir touché le conducteur B, on le transporte hors de l'influence du conducteur A, il reprendra son état naturel et n'aura plus aucun caractère électrique : si, au contraire, pendant que le conducteur B est sous l'influence du conducteur A on touche avec le doigt son extrémité D, il perdra aussitôt tout caractère électrique vers cette extrémité, et en contractera un beaucoup plus prononcé vers l'extrémité C; et en l'éloignant de nouveau, il présentera, dans toute son étendue, les caractères de l'électricité résineuse. On rend compte de ces phénomènes de la manière suivante :

Le conducteur A contient de l'électricité vitrée qui peut exercer des attractions et des répulsions, même à d'assez grandes distances, sur d'autres fluides électriques; le conducteur B, situé dans le voisinage, contient du fluide naturel, c'est-à-dire les deux électricités vitrée et résineuse; le fluide résineux est attiré vers l'extrémité C du conducteur B, par le fluide vitré du conducteur A, pendant que le fluide vitré est repoussé vers l'extrémité D. C'est dans cet état que les deux bouts du conducteur B annoncent des électricités opposées. Lorsqu'on éloigne le conducteur B sans l'avoir touché, les deux électricités, qui n'étaient séparées que par les influences du conducteur A, se recombinent et présentent de nouveau l'état naturel. Lorsque le conducteur B est touché au point D, pendant l'influence du conducteur A, il fournit une étincelle qui se compose de l'électricité vitrée qui était refoulée vers cette extrémité, et qui s'unit à l'électricité résineuse du doigt. Cette soustraction rend plus facile encore l'action décomposante du conducteur A, et l'électricité augmente en C. Enfin, lorsqu'après ce contact on éloigne le conducteur B du conducteur A, le fluide résineux se répand uniformément dans toute sa surface, mais n'y ren-

contre plus la quantité de fluide vitré nécessaire pour le saturer; c'est pourquoi le conducteur B conservera des caractères électriques résineux.

On conçoit que les phénomènes que nous venons de décrire et d'expliquer se produisent dans un ordre inverse lorsqu'on charge primitivement le conducteur A d'électricité résineuse.

Ce qui achève de prouver l'important phénomène de la séparation des fluides, c'est que, pendant l'influence du conducteur A, il y a, au milieu du conducteur B, un point qui ne présente aucun caractère électrique, et qui varie suivant la distance à laquelle se trouve le conducteur A. On conçoit, du reste, que tous ces phénomènes sont proportionnels à la tension de l'électricité dans le conducteur A primitivement chargé, et au degré de rapprochement des deux conducteurs.

Après avoir rendu compte de ce qui se passe dans le conducteur influencé B, il faut remarquer que le conducteur A n'éprouve aucun changement absolu dans son état électrique, mais qu'il peut en éprouver d'apparens et de momentanés pendant le voisinage du conducteur B. En effet, 1° l'électricité vitrée, qu'il contient en excès, en attirant l'électricité résineuse du conducteur B, en est attirée à son tour, en sorte que la tension devient beaucoup plus forte vers une extrémité que vers l'autre; 2° le conducteur A, outre l'excès d'électricité vitrée dont il est chargé, contient du fluide naturel, lequel peut être en partie décomposé par le voisinage de l'électricité résineuse du conducteur B.

Il peut arriver que les deux conducteurs A et B soient chargés chacun d'électricité semblable ou différente. Dans ces cas, les actions à distance s'exerceront d'abord sur les fluides libres; par exemple, si le conducteur A est

chargé d'électricité vitrée, et le conducteur B d'électricité résineuse, ces deux fluides s'attireront, et le maximum de leur tension, dans les deux conducteurs, se trouvera aux extrémités rapprochées. Cette action pourra même devenir telle, que les extrémités opposées ne donnent plus aucun caractère électrique; en sorte que l'on ne pourrait pas enlever au conducteur B son électricité en le touchant à son extrémité D : d'où l'on voit que, par suite de cette attraction réciproque, les deux électricités se trouvent en quelque sorte fixées, ne présentent plus leurs caractères ordinaires, et c'est ce que l'on désigne par les expressions d'électricités dissimulées.

Par une autre disposition, les deux conducteurs A et B peuvent se trouver chargés d'une électricité semblable; il arrivera alors que ces électricités se repousseront, que les extrémités opposées des conducteurs présenteront le maximum de tension, tandis que les extrémités rapprochées ne présenteront aucun caractère électrique. C'est par cette raison que deux pointes voisines détruisent réciproquement leurs effets.

Tous les phénomènes d'influence à distance que nous venons de décrire sont nécessairement assez bornés lorsque l'on rapproche les corps sans autre intermède que l'air atmosphérique; car il arrive, à un certain degré de rapprochement, que les fluides qui s'attirent parviennent à vaincre la résistance de l'air pour se réunir entre les deux conducteurs, en produisant le phénomène de l'étincelle électrique. Ainsi, quand on approche la main d'un conducteur chargé de fluide vitré, le fluide de même nature contenu dans la main est repoussé, tandis que le fluide résineux est attiré jusqu'à ce que la tension dans le conducteur et la tension dans la main soient suffisantes pour vaincre la pression atmosphérique et produire l'é-

tincelle. Il semblerait, au premier aspect, qu'il ne dût s'échapper ainsi du conducteur que la quantité d'électricité en excès, et qu'il dût conserver tout le reste; néanmoins, la presque totalité de l'électricité s'échappe dans cette occasion, et on le concevra facilement en se représentant que le trajet de l'étincelle forme dans l'atmosphère une espèce de vide à travers lequel tout le fluide électrique peut se précipiter à la fois. On peut rendre les phénomènes d'influence électrique infiniment plus prononcés par des artifices qui permettent de rapprocher considérablement les conducteurs les uns des autres, sans permettre l'explosion. C'est ce qu'on obtient en séparant les deux corps conducteurs par une lame mince de verre, de résine ou de tout autre corps non conducteur, ainsi que nous le dirons en parlant du *carreau électrique*. Ces phénomènes peuvent aussi devenir très-saillans dans le rapprochement d'un corps conducteur et d'un corps non conducteur qui ne peuvent pas s'envoyer d'étincelles, comme nous le verrons en parlant de l'*électrophore*.

THÉORIE DES ATTRACTIONS ET DES RÉPULSIONS ÉLECTRIQUES.

319. Nous avons vu que les corps électrisés éprouvaient des attractions et des répulsions; en d'autres termes, que l'électricité pouvait produire des mouvemens dans les corps. Nous sommes maintenant à même d'appliquer à ces phénomènes la théorie des deux fluides et des influences à distance.

Si les deux corps sont suspendus au voisinage l'un de l'autre; si tous deux sont non conducteurs, et s'ils sont pénétrés d'électricités semblables, ils devront se repousser, car, d'une part, les fluides eux-mêmes se repoussent, et,

d'autre part, les particules des fluides sont unies aux molécules des corps non conducteurs par une force inconnue dans sa nature, mais dont l'existence est bien démontrée, et qui doit entraîner les corps dans la répulsion des fluides.

Si les mêmes corps sont pénétrés de fluides différens, ils devront s'attirer et se mouvoir l'un vers l'autre par les mêmes causes, et en raison inverse du carré des distances.

Si les deux corps, librement suspendus, sont des conducteurs électriques, les mêmes phénomènes se produiront par les mêmes causes; mais en outre les fluides naturels des deux corps seront décomposés par les influences réciproques; les tensions électriques augmenteront, et les effets s'accroîtront dans le rapprochement, et diminueront par l'éloignement, dans une proportion plus grande que la raison inverse du carré des distances; car l'influence du rapprochement produira sur les corps les mêmes effets que l'addition d'une nouvelle quantité de fluide électrique.

Si l'un des deux corps est pénétré d'une électricité quelconque, et que l'autre soit dans l'état naturel, il y aura toujours attraction, pourvu que les corps soient conducteurs. En effet, le corps électrisé produira dans le corps à l'état naturel une séparation des deux fluides, en vertu de laquelle le fluide différent de celui du corps électrisé se portera du côté de ce corps, et le fluide semblable du côté opposé; ce qui mettra cette portion du corps non électrisée au même état que si tout le corps était pénétré d'une électricité opposée à celle du premier corps. Pour éclaircir cette explication, supposons (*fig.* 123) le conducteur A chargé d'électricité vitrée, et le conducteur B dans l'état naturel : nous avons vu que dans ce dernier conducteur l'électricité résineuse s'accumulera en C, et l'électricité vitrée en D; ces deux fluides ainsi séparés par l'in-

fluence du conducteur A, réagiront l'un sur l'autre avec égalité, ce qui ne saurait mettre le conducteur B en mouvement; mais il restera l'attraction de l'électricité résineuse située en C pour l'électricité du corps A; ce qui déterminera le rapprochement, si les corps sont mobiles. On conçoit que les mêmes raisonnemens s'appliquent, en sens inverse, dans le cas où le corps est chargé d'électricité résineuse.

Si le corps non électrisé n'est point isolé, ou communique avec le réservoir commun, la décomposition en deviendra plus facile et plus complète, et par conséquent il attirera indifféremment tous les corps électrisés.

En parlant des mouvemens produits dans les corps non conducteurs, nous avons supposé qu'ils étaient entraînés par l'adhérence du fluide électrique à leurs particules; la même supposition n'est point admissible pour les corps conducteurs; mais on est parvenu à se rendre compte de leurs mouvemens en prenant en considération la pression de l'air autour d'eux, et la force expansive de l'électricité, qui n'est contenue que par cette pression atmosphérique: en effet, si nous supposons une sphère conductrice électrisée et suspendue dans l'air, nous pourrons concevoir une couche électrique étendue à sa surface et pressant sur l'air qui l'environne; ces pressions seront parfaitement égales dans tous les sens, puisque nous avons vu que, dans ce cas, la couche électrique est partout d'une épaisseur égale. Mais on conçoit qu'aussitôt qu'on approchera de cette sphère un corps quelconque électrisé ou à l'état naturel, on changera par influence la distribution de l'électricité autour de la sphère primitive; que la couche électrique augmentera d'épaisseur à l'extrémité d'un de ses diamètres, et diminuera vers l'autre, en sorte que, trouvant toujours à l'extérieur la même résistance atmo-

sphérique, elle réagira plus fortement d'un côté que de l'autre, et pourra mettre le corps en mouvement.

Cette explication, tout ingénieuse qu'elle paraît, ayant donné lieu à quelques objections, plusieurs physiciens admettent que les pressions électriques s'exercent sur la petite couche d'air qui est naturellement adhérente à la surface de tous les corps.

On démontre, par une expérience qui paraît concluante, ces effets de pression électrique. Si l'on prend une petite tige métallique portée sur une pointe par son milieu, en équilibre et très-mobile; si l'on courbe en sens contraire les deux extrémités de cette tige et qu'on les rende très-aiguës, et si l'on électrise fortement l'appareil, on verra cette tige prendre un mouvement de rotation très-rapide dans le sens opposé à l'écoulement du fluide électrique qui se fait par les pointes. On voit, dans cet effet, une grande analogie avec l'effet hydraulique dont nous avons parlé, et l'on pense que le mouvement est produit par la pression du fluide électrique sur l'élément de la surface qui se trouve opposée à la pointe: comme, dans ce cas, la quantité de mouvement imprimé s'apprécie en multipliant la masse du fluide qui s'écoule par sa vitesse, et comme la masse de l'électricité est sensiblement nulle, puisqu'elle ne pèse rien, en quelque quantité qu'on l'accumule, il en résulte nécessairement que sa vitesse doit être infinie.

ÉLECTROMÈTRES ET ELECTROSCOPES.

320. On donne ces noms à des instrumens destinés à reconnaître la présence de l'électricité, à distinguer sa nature et à mesurer son intensité. Ils méritent celui d'*élec-*

tromètres, quand on les emploie à la mesure de l'intensité électrique; et celui d'*électroscopes*, quand on les emploie à découvrir l'électricité ou à en reconnaître la nature.

Nous avons vu que deux corps électrisés de la même manière se repoussaient; c'est précisément ce phénomène qui fait le principe de ces petits instrumens.

Le plus usité et le plus commode des électroscopes consiste en un flacon carré de cristal (*fig.* 124), par le goulot duquel pénètre une petite tige métallique terminée à l'extérieur par un bouton, et portant à son extrémité inférieure deux pailles librement suspendues, parallèles et en contact : la partie supérieure de l'instrument est vernie à la gomme-laque pour isoler complètement le petit conducteur, et sur l'une des faces du flacon se trouvent marqués des degrés qui mesurent l'écartement des deux pailles. Dans cet état, si l'on touche la boule extérieure avec un corps électrisé d'une manière quelconque, les deux pailles s'écartent, ce qui indique la présence de l'électricité dans ce corps, et jusqu'à un certain point sa quantité, par le plus ou moins d'écartement. Mais comme l'influence du poids des pailles s'accroît considérablement à mesure qu'elles s'approchent de l'horizontalité, cette dernière indication est fort inexacte. Ce même instrument peut servir à reconnaître la nature de l'électricité; car si, après avoir produit l'écartement par une électricité connue, vitrée, par exemple, on en approche un autre corps chargé d'une électricité inconnue, l'écartement persistera ou augmentera si l'électricité est vitrée, il diminuera ou cessera si l'électricité est résineuse. Il faudra seulement agir avec précaution, car les pailles, après avoir perdu leur électricité vitrée, pourront tout à coup s'écarter de nouveau par le nouveau fluide, et le mouvement peut être si

prompt qu'on n'ait pas le temps de l'apercevoir. On remplace souvent les pailles par deux feuilles d'or suspendues parallèlement. Les effets en sont encore plus sensibles, mais l'instrument se dérange plus facilement.

Pour apprécier des quantités d'électricité extrêmement petites, on ajoute à l'électroscope un appareil que nous décrirons bientôt sous le nom de *condensateur*.

Pour reconnaître l'électricité atmosphérique, on surmonte l'électroscope d'une pointe métallique très-aiguë, et on l'élève au bout d'une perche.

Dans la plupart des cas, le plus commode des électroscopes est une boule de moelle de sureau suspendue à un fil de soie; car elle est attirée par tous les corps électrisés : quand on l'a touchée avec un tube de verre frotté, elle est électrisée vitreusement; et quand on l'a touchée avec un bâton de cire à cacheter, elle possède une électricité résineuse ; et par conséquent, elle peut servir à faire connaître l'état d'un corps électrisé quelconque.

Pour apprécier jusqu'à un certain point la charge électrique des machines, on se sert d'un électromètre très-simple qui est représenté (*fig.* 125). Il consiste en un demi-cercle d'ivoire sur lequel on a tracé des degrés, et en une boule de moelle de sureau montée sur une tige, qui se meut autour du centre de ce demi-cercle. A mesure qu'on accumule de l'électricité dans la machine sur laquelle est posé cet instrument, la boule s'écarte de la tige de l'électromètre, et peut former presque un angle droit avec elle, dans un maximum de charge électrique.

De tous les instrumens qui portent le nom d'électromètres, le seul qui présente une véritable exactitude est la balance de Coulomb, que nous avons décrite dans d'autres occasions.

RÉPARTITION DE L'ÉLECTRICITÉ ENTRE DIFFÉRENS CORPS.

321. Nous avons vu que les corps non conducteurs électrisés pouvaient exercer des influences à distance ; mais ils peuvent arriver jusqu'au contact sans qu'il se produise aucun nouveau phénomène, attendu que l'électricité est en quelque sorte fixée autour de chacune des molécules du corps, et qu'à l'instant du contact il n'y a que le point touché qui puisse perdre ou recevoir de l'électricité. Aussi devient-il nécessaire de toucher ces sortes de corps dans tous leurs points successivement, soit pour leur communiquer, soit pour leur enlever une électricité quelconque. Il n'en est pas de même des corps conducteurs : toute leur électricité peut se transporter subitement dans un seul point touché, peut se transmettre par conséquent à un autre corps, ou se partager en proportions diverses entre les corps qui se touchent. Il est très-important d'indiquer suivant quelles lois ces communications s'opèrent.

Si nous supposons un conducteur A (*fig.* 123) chargé d'une certaine quantité d'électricité vitrée, et qu'on le mette en contact avec le réservoir commun, nous savons qu'un instant avant ce contact le réservoir commun aura fourni, vis-à-vis le conducteur A, une quantité d'électricité résineuse qui, au moment de ce contact, s'unira avec l'électricité vitrée du corps A pour reformer du fluide naturel. Il n'en sera pas moins vrai que le réservoir commun contiendra alors, en sus de sa composition ordinaire, toute la quantité de fluide vitré qui environnait le conducteur A. Mais cette quantité étant infiniment petite relativement à la masse totale du fluide naturel, le réservoir commun ne donnera aucun caractère électrique;

c'est ainsi que s'opère généralement la décharge de ce que l'on nomme un conducteur.

Si le conducteur A, chargé de l'électricité vitrée, est mis en contact avec un conducteur B de même surface que lui, et dans l'état naturel, nous savons qu'un peu avant ce contact il se sera accumulé de l'électricité résineuse à l'extrémité C du conducteur B, et qu'à l'instant de ce contact les deux électricités s'uniront pour reformer du fluide naturel. Mais il est évident qu'après le contact les deux conducteurs ne forment plus qu'un seul corps, qui doit contenir présisément les mêmes quantités d'électricité qu'auparavant, c'est-à-dire le fluide naturel des deux conducteurs, plus un excès de fluide vitré égal à celui que contenait le conducteur A. Or cet excès de fluide vitré se répartit dans le conducteur composé suivant des lois que nous avons établies, qui dépendent de sa forme ; en sorte que, si les deux conducteurs sont parfaitement semblables, ils se trouveront chargés chacun précisément de la moitié du fluide vitré qui environnait le conducteur A, c'est-à-dire, que l'électricité sera partagée également entre les deux conducteurs.

La tension du fluide électrique à la surface d'un conducteur dépendant et de la quantité d'électricité et de l'étendue de la surface qu'elle occupe, il en résulte qu'en cas de partage, la tension de l'électricité diminuera à proportion qu'elle s'étendra sur une plus grande surface. Il en résulte aussi qu'étant donné un conducteur d'une surface déterminée, si on le met en contact avec d'autres conducteurs d'une surface beaucoup plus grande, la tension électrique pourra devenir extrêmement faible; tandis que, si l'on fait toucher à un très-grand conducteur un conducteur isolé très-petit, celui-ci pourra prendre sensiblement la même tension électrique que possédait le

grand conducteur dans le point touché, mais dans aucun cas une plus considérable. On a profité de cette circonstance pour apprécier l'état électrique des différens points d'un conducteur. On se sert, pour cela, d'un très-petit disque métallique emmanché d'un fil de gomme-laque: on touche le conducteur dans le point qu'on veut éprouver, avec le petit disque de métal, que l'on présente ensuite à un électromètre. C'est par cette méthode et avec sa balance de torsion que Coulomb a fait les nombreuses expériences d'où il a déduit les lois de la répartition du fluide électrique.

S'il est vrai que l'électricité occupe toujours la surface des corps, et que sa tension soit en raison inverse de l'étendue de cette surface, on conçoit qu'il doit être facile de faire varier considérablement la tension électrique d'un corps en changeant l'étendue de sa surface externe. En effet, si l'on dispose un ruban métallique roulé sur un cylindre isolé, et qu'on électrise le tout de manière à produire une forte tension, il suffira de dérouler le ruban pour faire presque complètement disparaître les effets électriques, tandis qu'en l'enroulant de nouveau on verra reparaître la même tension qu'auparavant, sauf les déperditions qui auront pu avoir lieu par l'atmosphère.

La loi de la répulsion des particules électriques étant connue, et sa situation à la surface des corps, prouvée par l'expérience, il a été possible d'appliquer l'analyse à la détermination de tous les cas de la répartition du fluide électrique. C'est à M. Poisson qu'est dû ce beau travail, dont tous les résultats, susceptibles d'être vérifiés par l'expérience, se sont trouvés de la plus grande justesse.

Ne pouvant entrer dans les détails de ces savans travaux, nous nous contenterons d'en citer deux résultats.

1° L'épaisseur de la couche électrique aux extrémités des

deux axes d'un ellipsoïde est proportionnelle à leur longueur; 2° la pression exercée sur l'atmosphère par une couche d'électricité déposée sur la surface d'un corps est proportionnelle au carré de l'épaisseur de cette couche.

DU CONDENSATEUR.

322. Nous avons vu qu'un conducteur de petite dimension prenait naturellement, par le contact, à un très-grand conducteur, une quantité d'électricité produisant la même tension dans l'un et dans l'autre, et jusqu'ici nous avons considéré des tensions égales comme indiquant des quantités d'électricité semblables. Cependant il n'en est pas toujours ainsi, et il y a des circonstances dans lesquelles une grande quantité d'électricité accumulée peut fort bien ne produire qu'une faible tension.

Ces quantités d'électricité qui peuvent exister dans les conducteurs, sans présenter des tensions proportionnelles, prennent le nom d'*électricité dissimulée*; et il y a un grand nombre de cas dans lesquels il est nécessaire de donner lieu à de semblables accumulations pour rendre sensible la présence de certaines électricités dont la tension est très-faible. L'instrument qu'on nomme *condensateur* présente ce phénomène et est destiné à cet usage : nous en donnerons en même temps la description et la théorie. Supposons (*fig.* 126) un plateau métallique AB, monté sur un manche isolant C, posé sur une plaque de verre VV', qui repose elle-même sur un autre plateau métallique DE. Si, dans cet état, on fait communiquer le plateau AB avec un conducteur chargé d'électricité vitrée, une partie de cette électricité passera dans le plateau; mais aussitôt qu'elle s'y sera répandue, elle agira par influence sur l'électricité

naturelle du plateau DE, à travers le plan de verre qui les sépare, elle attirera près de ce plan l'électricité résineuse de ce plateau DE, en repoussant son électricité vitrée vers la face inférieure. Mais si cette face inférieure communique avec le réservoir commun, cette électricité vitrée pourra disparaître et laisser à l'électricité résineuse qui occupe la face supérieure, toute son énergie pour attirer l'électricité vitrée du plateau supérieur. Dès lors, cette électricité n'aura plus de tension sensible vers la face supérieure du plateau AB, et cette face pourra, par conséquent, recevoir une nouvelle quantité d'électricité vitrée de la part du conducteur primitif, jusqu'à ce que la quantité d'électricité vitrée accumulée dans AB soit telle, qu'elle excède la proportion qui peut être attirée et fixée par l'électricité résineuse du plateau DE. Mais comme les influences à distance sont d'autant plus énergiques, que les distances sont plus petites, il en résulte que l'accumulation de l'électricité vitrée dans le plateau AB sera d'autant plus considérable que la lame de verre VV′ sera plus mince.

Le condensateur étant ainsi chargé, si on l'isole de toutes parts et qu'on examine son état, on trouvera que le plateau inférieur ne présente aucun caractère électrique, quoiqu'il contienne une grande quantité d'électricité résineuse, parce que celle-ci est fixée à sa face supérieure ou à la surface du verre par l'attraction de l'électricité vitrée du plateau supérieur. On trouvera que le plateau supérieur a une tension électrique semblable à celle de la source, quoiqu'il contienne une beaucoup plus grande quantité d'électricité vitrée, laquelle est retenue à sa face inférieure ou à la face supérieure du verre par l'attraction de l'électricité résineuse du plateau inférieur.

L'électricité du plateau supérieur n'étant pas entièrement fixée, si l'on touche ce plateau il en sortira

une petite étincelle formée de la portion d'électricité vitrée qui produisait sa faible tension. Mais alors l'électricité résineuse du plateau inférieur ne sera plus complètement retenue; il présentera une légère tension, et si on le touche, il fournira une petite étincelle; après quoi le plateau supérieur présentera une nouvelle tension et pourra donner une nouvelle étincelle; en sorte que, par un très-grand nombre de contacts alternatifs, on pourra parvenir à décharger complétement le condensateur.

Si, au lieu de toucher successivement et séparément les deux plateaux, on les touche simultanément avec les deux mains ou avec les deux extrémités d'un conducteur métallique, les deux électricités opposées se réuniront subitement et produiront une forte étincelle et une commotion violente.

Si, au lieu de toucher les plateaux, on saisit l'un d'eux par son manche isolant, et qu'on l'éloigne de la surface vitrée, il cessera d'être sous l'influence de l'électricité opposée, et présentera tout-à-coup des caractères électriques très-prononcés et proportionnels à la quantité réelle d'électricité qu'on y aura accumulée. C'est ordinairement le plateau supérieur que l'on enlève ainsi, et c'est alors que l'instrument joue le rôle de condensateur, puisqu'on a pu accumuler dans le plateau supérieur beaucoup d'électricité provenant cependant d'un conducteur faiblement électrisé.

Nous avons décrit le condensateur en supposant les plateaux séparés par une lame de verre; mais l'usage de ce moyen isolant a des inconvéniens, et donne lieu à des circonstances remarquables. D'abord la lame de verre est sujette à se couvrir d'une couche d'eau qui empêche la marche de l'instrument. En second lieu, son diamètre doit être beaucoup plus grand que celui des disques mé-

talliques, sans quoi les deux électricités se réuniraient par une étincelle entre les deux bords des disques. Enfin, les deux électricités opposées sont plus adhérentes aux surfaces mêmes de la lame de verre qu'aux disques métalliques; en sorte que, quand on enlève le plateau supérieur, il n'emporte avec lui qu'une faible partie de l'électricité vitrée, pendant que le reste demeure étendu sur la surface vitreuse. Il est facile de démontrer ce fait; car si l'on enlève avec des manches isolans le plateau supérieur et le plateau inférieur, et que l'on place la lame de verre entre deux nouveaux plateaux isolés, on trouvera ce nouveau condensateur presque aussi chargé que le premier.

Pour éviter ces inconvéniens, on peut garnir chacun des plateaux métalliques d'une lame de verre mince qui s'enlève avec eux, ou les couvrir d'une couche bien égale et bien continue faite avec un vernis de gomme-laque; mais, dans ce dernier cas, on ne pourra charger le condensateur que d'une petite quantité d'électricité, sans quoi la couche mince de vernis serait aisément traversée par l'étincelle. Avec les lames de verre on pourra toujours, au contraire, obtenir une charge beaucoup plus forte; mais l'instrument sera d'autant moins sensible que la distance entre les disques métalliques sera plus grande.

L'instrument que nous venons de décrire, et qui est si précieux pour l'observation des phénomènes électriques avec des tensions très-faibles, a été imaginé par Volta, mais alors il différait essentiellement de celui que nous possédons aujourd'hui. Volta plaçait un disque métallique sur un plan de marbre; cette substance n'est pas précisément un corps isolant, mais elle conduit mal l'électricité, de telle sorte qu'en chargeant le plateau métallique d'électricité vitrée, par exemple, le fluide naturel du marbre est décomposé; le fluide résineux est attiré vers la sur-

face, et le fluide vitré repoussé dans le réservoir commun, de sorte qu'il se produit une action condensante analogue à celle que nous avons décrite, mais beaucoup moins prononcée.

On a construit, pour la commodité de l'expérience et de la démonstration, un condenseur particulier qui consiste en un plan de verre supporté par une petite colonne dans une position verticale; deux plans métalliques s'appliquent sur ces deux surfaces et sont supportés par deux autres colonnes isolantes; au moyen d'une petite manivelle, les deux plans métalliques peuvent être subitement rapprochés ou éloignés du plan de verre; on peut, du reste, suspendre aux plans métalliques des boules de moelle de sureau, qui servent à indiquer la tension électrique et à en reconnaître la nature.

Pour donner une idée des applications importantes du condenseur dans les recherches relatives aux phénomènes électriques, nous indiquerons une de ces expériences.

Lorsqu'on fait brûler de l'alcool, il prend un caractère électrique, et la flamme qui se produit prend un caractère électrique opposé. Pour constater ce fait, on placera un petit vase métallique, contenant de l'alcool, sur le premier condensateur que nous avons décrit, en faisant communiquer le plateau inférieur avec le réservoir commun. Au bout d'un moment on enlevera subitement le plateau supérieur, et on l'approchera d'un électroscope à feuilles d'or. Si l'on veut connaître l'état électrique de la flamme, on placera sur le plateau supérieur un fil métallique qui dépassera de beaucoup sa circonférence, et dont l'extrémité plongera dans la flamme d'une lampe à alcool placée extérieurement. Le plateau de l'instrument, placé comme dans le premier cas, donnera encore des signes d'électricité, mais d'une nature opposée.

CARREAU ÉLECTRIQUE.

323. On emploie souvent, dans les expériences électriques, un appareil nommé *carreau électrique*, qui consiste en une lame de verre, sur les faces opposées de laquelle on a collé deux feuilles d'étain, de manière qu'elles s'arrêtent toutes deux à un pouce du bord de la lame de verre. Nous sommes dispensés d'entrer dans l'explication des phénomènes que présente cet appareil, car on voit que ce n'est autre chose qu'un condensateur; en sorte que, si l'on fait communiquer la face supérieure avec les conducteurs de la machine électrique, et la face inférieure avec le réservoir commun, ces deux faces se chargeront d'électricités opposées qui produiront une forte étincelle au moment où on leur fournira le moyen de se réunir. On a fondé sur cette propriété un grand nombre d'expériences dans lesquelles la nature du plateau est déguisée dans des gravures qui produisent une vive surprise, par la commotion qu'elles transmettent à la main qui s'approche du plateau.

BOUTEILLE DE LEYDE.

324. On conçoit qu'il est facile de remplir les conditions du condensateur ou du plateau électrique en faisant usage d'un bocal ou d'une bouteille de verre; et c'est ce qui a donné lieu à l'instrument devenu fameux sous le nom de *bouteille de Leyde*, tiré de celui de la ville où il a été imaginé.

Si l'on prend une bouteille de verre mince, que l'on tapisse son extérieur d'une feuille d'étain jusqu'à une cer-

taine distance du goulot, et que l'on vernisse cet intervalle pour rendre l'isolement plus parfait; si l'on place dans l'intérieur de la bouteille des feuilles légères d'or ou de cuivre battu, et que l'on fixe dans le goulot une tige de cuivre terminée en dedans par une pointe, et en dehors par une petite sphère, on aura un véritable condensateur dont l'un des disques sera représenté par les feuilles légères qui peuvent s'appliquer contre la paroi interne de la bouteille, et qui communiquent avec le bouton, tandis que l'autre le sera par l'*armature* extérieure de la bouteille.

Si l'on suspend cette bouteille de Leyde au conducteur d'une machine électrique, sans toucher l'extérieur, elle ne se chargera point. Si l'on fait communiquer l'extérieur avec le réservoir commun, elle se chargera, comme le condensateur; si la machine fournit de l'électricité vitrée, la bouteille contiendra cette nature d'électricité en dedans et de l'électricité résineuse en dehors. Si l'on pose la bouteille sur un plateau isolant, on pourra tirer alternativement un grand nombre d'étincelles du dedans et du dehors, et décharger peu à peu la bouteille. Enfin, si l'on fait communiquer l'intérieur avec l'extérieur, la bouteille se déchargera subitement en produisant une forte commotion. Il est facile de charger la bouteille dans le sens contraire, en tenant à la main la boule qui communique dans l'intérieur, et touchant le conducteur électrisé avec l'extérieur de la bouteille. Dans ce cas, cet extérieur sera électrisé vitreusement, et l'intérieur résineusement.

Une des circonstances les plus remarquables que présentent les bouteilles de Leyde, c'est la possibilité de les charger par *cascade*, c'est-à-dire en faisant passer dans une seconde bouteille l'électricité qui sort de la première,

dans une troisième celle qui sort de la seconde, etc. En effet, si l'on suspend une bouteille de Leyde à un conducteur qui fournit de l'électricité vitrée, que l'on fasse communiquer l'extérieur de cette bouteille avec l'intérieur d'une seconde, l'extérieur de celle-ci avec l'intérieur d'une troisième, et enfin l'extérieur de cette dernière avec le réservoir commun, les trois bouteilles se chargeront, mais à des degrés différens. La première recevra de l'électricité vitrée dans l'intérieur; son électricité vitrée extérieure sera repoussée dans l'intérieur de la seconde, et produira le même effet sur l'électricité vitrée de son armature externe, qui se portera dans l'intérieur de la troisième; et enfin l'électricité vitrée de l'extérieur de celle-ci ira se perdre dans le réservoir commun; de sorte qu'en séparant ensuite ces bouteilles les unes des autres, elles se trouveront toutes chargées de la même manière, mais à différens degrés, à cause du nombre des lames vitreuses qui diminuent progressivement les forces attractives des fluides opposés, les uns sur les autres.

BATTERIES ÉLECTRIQUES.

325. On peut réunir dans une même caisse un certain nombre de grandes bouteilles préparées comme celles que nous venons de décrire, faire communiquer toutes leurs armatures externes par une feuille d'étain dont on recouvre le fond de la caisse, et tous leurs intérieurs au moyen de tiges métalliques qui unissent leurs boutons de cuivre. C'est cette réunion qui porte le nom de *batterie électrique*. On peut avoir un certain nombre de ces batteries et les charger directement ou par cascade; on parvient alors à accumuler de grandes masses de fluides contraires, qui, lorsqu'on les réunit, produisent des effets analogues à ceux

de la foudre. Mais l'emploi de pareils instrumens doit être dirigé avec prudence, pour prévenir les accidens auxquels l'expérimentateur lui-même peut être exposé.

ÉLECTROPHORE.

326. *L'électrophore* est un des instrumens les plus ingénieux et les plus commodes dont on puisse faire usage en électricité. Il a l'avantage d'en produire à volonté, et sa théorie présente un intérêt particulier, lorsqu'on la rattache à celle des influences à distance. Cette machine se compose d'un gâteau de résine bien uni et bien plan, et d'un disque métallique (ou du moins couvert d'une feuille de métal) monté sur une tige isolante. Lorsque le plateau de résine a été frappé à plusieurs reprises avec une peau de chat, il se trouve imprégné d'une grande quantité d'électricité résineuse. Si l'on saisit alors le disque métallique par le manche isolant, et qu'on le pose sur le plateau de résine, son fluide naturel sera décomposé en grande quantité, l'électricité vitrée sera attirée vers le plateau de résine, et le fluide résineux sera repoussé vers la face supérieure du disque. Si l'on retire alors le disque sans l'avoir touché, ses deux fluides se recombineront, et il reprendra son état naturel; mais si, pendant que le disque est posé sur le plateau de résine, on met sa face supérieure en communication avec le réservoir commun en la touchant avec la main, elle fournira une étincelle et laissera échapper du fluide résineux. Le disque ne donnera plus alors aucun signe d'électricité, parce qu'elle sera dissimulée, comme dans le cas du condensateur. Mais si l'on écarte alors le disque métallique du plateau de résine, il deviendra tout à coup fortement électrisé de fluide vitré, et fournira une forte étincelle.

On voit que, dans cet appareil, le plateau de résine n'éprouve aucune perte d'électricité, et que celle qu'il possède n'agit que par influence sur le fluide naturel du disque métallique. Il en résulte qu'un semblable instrument ayant été une fois électrisé, peut conserver pendant six mois et plus, la faculté de fournir des étincelles, pourvu qu'il soit plongé dans un air sec; ce qu'on obtient aisément en l'enfermant dans une boîte où l'on place un peu de chaux vive. C'est ce qu'on voit dans ces espèces de lampes où le gaz hydrogène s'enflamme par l'étincelle électrique.

MOYENS DE PRODUIRE L'ÉLECTRICITÉ.

327. En considérant la question de la production de l'électricité dans sa plus grande généralité, on peut dire qu'il s'en développe dans tous les changemens de rapports quelconques qui peuvent intervenir entre les différens corps de la nature; en sorte que jamais deux corps ne se touchent, ne se séparent, ne se frappent, ne se frottent, ne se combinent ou ne se dégagent, sans qu'il se produise de l'électricité. Cependant il faut remarquer que le genre d'électricité dont nous nous occupons en ce moment, a pour caractère de présenter une *tension* évidente aussitôt qu'il se développe, et que, dans la plupart des cas dont nous venons de parler, s'il se produit des courans d'électricité, cela arrive le plus souvent sans qu'on puisse reconnaître sa présence par les effets ordinaires d'attraction et de répulsion, qui dépendent de sa tension; en sorte que l'électricité que nous étudions en ce moment ne se produit ordinairement que par la pression, par le choc, par les changemens de température, et principalement par le frottement.

Le célèbre Haüy a reconnu, le premier, dans ses recherches délicates, qu'une simple pression exercée par les doigts sur certains cristaux suffisait pour leur communiquer un état électrique très-prononcé. C'est ainsi que le spath d'Islande comprimé prend une électricité vitrée qu'il conserve pendant très-long-temps. Ce savant a même profité de cette disposition pour construire un électroscope qui consiste en une aiguille horizontale très-mobile sur un pivot et qui porte à l'une de ses extrémités un petit cristal de spath d'Islande, qu'il suffit de presser légèrement pour communiquer à toute l'aiguille une électricité vitrée qui sert à distinguer celle de tout autre corps qu'on lui présente.

Le choc entre des corps de différentes nature paraît très-propre à développer de l'électricité ; mais, la plupart du temps, son action se confond avec celle du frottement dont nous parlerons bientôt.

Les changemens de température produisent, dans certains corps, des états électriques très-remarquables. C'est encore à ce savant cristallographe que nous devons la plupart de nos connaissances sur ce genre de phénomènes. Le fait de cet ordre le plus anciennement connu appartient à la tourmaline : lorsqu'on la chauffe elle devient électrique, en contractant des pôles, en sorte que l'une de ses extrémités est vitrée et l'autre résineuse, et si on la brise dans cet état, chacun de ses fragmens se trouve doué des mêmes propriétés.

Le frottement est, sans contredit, le plus puissant moyen que nous connaissions de produire de l'électricité. Cette production dépend et de la nature des corps qui se frottent, et de la manière dont le frottement s'opère.

Il semble, au premier aperçu, qu'il n'y ait que les corps non conducteurs qui soient susceptibles de s'électriser par

frottement ; cependant il suffit d'isoler un corps conducteur pour lui communiquer cette propriété.

Les différens corps frottés les uns contre les autres s'électrisent plus ou moins, dans un sens ou dans l'autre, suivant leur nature, et sans que nous connaissions les causes qui amènent ces différences. Ainsi, le verre poli, frotté avec un morceau de drap, acquiert de l'électricité vitrée, et le morceau de drap de l'électricité résineuse. Le verre poli, frotté avec une peau de chat, contracte l'électricité résineuse. La même substance, frottée avec un cuir enduit d'or musif (deuto-sulfure d'étain) ou d'amalgame de mercure, se charge très-fortement d'électricité vitrée. Le verre dépoli contracte presque toujours par frottement l'électricité résineuse.

Le diamant poli ou dépoli contracte toujours l'électricité vitrée, avec quelque corps qu'on le frotte. L'ambre, la résine et une foule d'autres corps analogues contractent toujours l'électricité résineuse, lorsqu'ils éprouvent un frottement quelconque.

Deux portions d'un même corps frottées l'une sur l'autre peuvent contracter des états électriques très-prononcés, et par conséquent opposés l'un à l'autre. Il n'y a rien ici dans la nature du corps qui détermine l'un des deux à se charger plutôt de l'électricité résineuse que de l'électricité vitrée, et l'on remarque en effet que la fixation d'un des fluides sur l'un ou l'autre des deux corps dépend de la manière dont le frottement s'exerce.

Si, par exemple, on prend deux rubans de soie A et B, que deux personnes les tiennent par leurs extrémités en les tendant, et que l'on fasse glisser le ruban A en travers du ruban B, le premier prendra l'électricité vitrée, et le second l'électricité résineuse. Si, au contraire, on fait glisser le ruban B en travers du ruban A, ce sera le ruban B qui contractera l'électricité vitrée.

Une des substances les plus propres à électriser les corps par le frottement est la peau de chat revêtue de son poil. Si, en effet, on frappe en glissant un plateau de résine avec cette peau tournée du côté du poil, il s'électrisera rapidement. Mais l'on voit qu'ici le choc est un moyen de rendre le frottement plus vif et plus intense. La même chose arrivera si l'on frappe de même un conducteur en cuivre isolé. On pourra aussi électriser de cette manière un homme placé sur un tabouret isolant.

La peau de l'homme, quoiqu'elle soit le siége d'une transpiration continuelle qui, par sa propriété conductrice, devrait s'opposer à la production de l'électricité, devient très-propre à l'électrisation lorsqu'elle est sèche. Il suffit, pour s'en assurer, de frotter un tube de verre avec la main ou de faire glisser dans les doigts des bas de soie qui s'électrisent souvent au point de produire des étincelles. Il arrive même quelquefois qu'en tirant rapidement des bas de soie neufs, ils restent gonflés et conservent la forme de la jambe, par l'effet de la répulsion du fluide électrique dont ils sont pénétrés.

Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici que tous ces phénomènes de production d'électricité ne deviennent apparens que dans une atmosphère bien sèche, attendu que l'eau qui se précipite naturellement d'un air humide, est pour l'électricité un conducteur à travers lequel les fluides opposés se réunissent aisément. Il ne faut même que la plus légère couche d'eau à la surface des corps isolans, comme le verre et la résine, pour leur donner des propriétés conductrices très-marquées. Mais il suffit, en général, d'échauffer l'air dans lequel on fait des expériences, pour en déterminer le succès, attendu qu'en élevant sa température on assure la persistance de la vapeur d'eau qu'il peut contenir.

DE L'ISOLEMENT.

328. C'est un point extrêmement important que de savoir isoler complétement les corps sur lesquels on veut faire des expériences électriques, ou si cet isolement complet est impossible, de connaître au moins les lois suivant lesquelles l'électricité se perd, afin de pouvoir introduire cette loi dans les calculs, et tenir compte des résultats qui en dépendent.

Heureusement, les travaux de Coulomb, aussi exacts qu'étendus et minutieux, nous ont fait connaître sous ce point tout ce qui pouvait être nécessaire aux expérimentateurs qui lui ont succédé. Nous ne donnerons ici qu'un résumé succinct des résultats auxquels ils est parvenu.

Lorsqu'un corps conducteur est supporté par une tige isolante et plongée dans l'atmosphère qui nous entoure, ce corps peut perdre l'électricité qu'on lui aura communiquée par différentes voies : 1° par la substance même du support, puisqu'il n'y a pas de corps réellement privés de la faculté de conduire l'électricité; 2° par une couche humide qui se déposerait à la face de ce support; 3° par l'air humide agissant comme conducteur; 4° par l'air sec qui n'agit plus comme conducteur, et dont les particules attirées d'abord, électrisées par contact et repoussées ensuite, vont perdre cette électricité acquise sur les corps environnans.

Il était d'abord nécessaire d'isoler ces diverses causes de déperdition les unes des autres, et de réduire les pertes à celles qui peuvent se faire par l'air seul; Coulomb y est parvenu par des moyens assez simples : d'abord il a constaté qu'un petit fil de gomme laque, surtout de celle qui a la couleur brune, lorsque ce fil a douze lignes de

longueur, ne laisse perdre aucune quantité sensible d'électricité, pourvu que le petit corps qu'il supporte ne soit chargé d'électricité qu'à une faible tension. Un fil de soie de six pouces, enduit de gomme laque, isole également bien; on acquiert la preuve de cet isolement complet, lorsque deux ou trois supports réunis pour un même corps ne rendent pas la déperdition d'électricité plus considérable que quand on n'en emploie qu'un seul.

Agissant donc sur un petit corps électrisé, isolé comme nous venons de le dire et dans un air aussi sec que possible, Coulomb a pu au moyen de sa balance de torsion, mesurer exactement la perte en électricité que le petit corps faisait dans une minute, par exemple, car l'angle de torsion d'abord produit par l'état électrique primitif se trouvait diminué, au bout de la minute écoulée, d'une quantité très-appréciable.

En agissant par cette méthode avec les précautions les plus minutieuses, et en répétant les expériences un grand nombre de fois, Coulomb est arrivé aux résultats généraux suivans: 1°. La perte par l'air sec, dans un corps faiblement électrisé, est assez lente pour que l'on puisse exécuter une série d'essais, en tenant compte de la déperdition. 2°. La déperdition est proportionnelle à la tension électrique. 3°. La déperdition n'est nullement influencée par la forme, le volume et les anfractuosités du corps, ni même par sa nature, pourvu que la tension électrique comuniquée primitivement soit très-faible. 4°. La déperdition s'accroît rapidement à mesure que l'hygromètre s'éloigne du zéro de son échelle. 5°. Elle s'accroît aussi rapidement par la diminution de la pression atmosphérique, ou de l'élasticité du gaz qui environne le corps électrisé.

Coulomb a, du reste, publié des tables dont les lois

que nous venons de rapporter sont le résultat, et que les expérimentateurs peuvent consulter.

Pour les besoins pratiques et dans tous les cas ordinaires, on produit un isolement suffisant, en supportant les corps conducteurs par des colonnes de cristal ayant pour hauteur au moins dix fois leur diamètre, et en enduisant leur surface d'un vernis de gomme laque, qui a l'avantage de ne point attirer l'humidité de l'air, comme le ferait la surface du verre.

Les petites tiges dont on fait usage pour supporter de petits conducteurs mobiles, peuvent être disposées de la même manière, ou mieux, construites en cire à cacheter de bonne qualité, ou en tissus de soie enduits de gomme laque.

Nous verrons, au reste, en parlant de la pile sèche, que nous possédons aujourd'hui un excellent instrument pour mesurer avec exactitude le degré de conductibilité des corps pour l'électricité.

MACHINES ÉLECTRIQUES.

329. On a imaginé successivement différens appareils propres à développer, par le frottement, une grande quantité d'électricité, et à l'accumuler dans des conducteurs isolés. On a ajouté depuis quelque temps des perfectionnemens essentiels à leur construction.

La machine la plus usitée consiste en un plateau de glace circulaire dont le diamètre est quelquefois porté jusqu'à six pieds, et qui est monté sur un axe en cuivre, à l'aide duquel on peut le faire tourner au moyen d'une manivelle. Ce plateau est monté dans un châssis qui porte quatre coussins en cuir rembourrés de crin, qui, à l'aide

de vis, pressent plus ou moins les deux faces du plateau, et qui correspondent à son diamètre vertical. Ces coussins peuvent être frottés d'un amalgame de zinc et de mercure réduit en poudre et incorporé dans de l'axonge; on peut aussi les enduire d'*or musif*. Au-devant et sur les côtés de ce plateau sont disposés deux conducteurs en cuivre terminés par des sphères et montés sur des colonnes de verre enduit d'un vernis de gomme-laque. Ces deux conducteurs communiquent entre eux par une traverse qui réunit leurs extrémités les plus éloignées du plateau. Les mêmes conducteurs portent, du côté de la glace, un cylindre plié sur lui-même, qui embrasse le bord de cette glace sans la toucher, et qui correspond à la fois à ses deux surfaces dans une étendue à peu près égale à celle des coussins. L'intérieur de cette espèce de fer à cheval est garni de pointes très-aiguës destinées à soutirer l'électricité du plateau. Enfin, depuis chaque paire de coussins jusque près du conducteur correspondant, la glace est couverte d'une enveloppe de taffetas gommé qui s'oppose à la déperdition de l'électricité par l'air atmosphérique. Du reste, les coussins qui frottent la glace doivent communiquer librement avec le réservoir commun.

Lorsqu'on tourne dans le sens convenable, c'est-à-dire de gauche à droite, le plateau d'une semblable machine électrique, la glace, en passant dans les coussins, se charge d'électricité vitrée, qui est conservée par le taffetas gommé, et ensuite soutirée par les pointes, pour se porter dans les conducteurs, en sorte que la glace en est dépouillée avant de passer de nouveau entre les coussins opposés, où le même effet se renouvelle. Les conducteurs se chargent au point de fournir des étincelles qui peuvent avoir plusieurs pouces de longueur; et si l'on désire augmenter la masse du fluide électrique, on peut suspendre

par des fils de soie, au plafond de l'appartement, d'autres conducteurs plus étendus, que l'on fait communiquer avec ceux de la machine.

On conçoit qu'un semblable appareil ne peut jamais fournir que de l'électricité vitrée, tandis que si les coussins étaient en communication avec les conducteurs isolés et les pointes avec le réservoir commun, les conducteurs se chargeraient d'électricité résineuse.

La machine de Nairne offre un exemple très-frappant de la séparation des deux fluides électriques par le frottement. Elle consiste en une espèce de manchon ou de cylindre de verre qui tourne sur un axe et qui se trouve placé entre deux conducteurs parallèles et isolés, dont l'un porte un frottoir et l'autre des pointes. Dans le mouvement de rotation, les deux conducteurs s'électrisent en sens opposés, et si l'on rapproche suffisamment leurs extrémités, il en part continuellement des étincelles qui réunissent les fluides que le frottement avait séparés.

DES EFFETS DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES CORPS BRUTS.

330. Indépendamment des phénomènes d'attraction et de répulsion, l'électricité produit des effets nombreux et variés en traversant l'air, en se répandant dans le vide, en agissant sur des corps conducteurs ou non conducteurs, simples ou composés; enfin, en traversant les organes vivans. Nous devons examiner successivement ces différens ordres de phénomènes.

Lorsque l'électricité traverse l'air atmosphérique qui environne des conducteurs chargés, elle peut s'y répandre en aigrettes lumineuses accompagnées d'un pétillement particulier. S'il y a dans le voisinage un autre corps con-

ducteur vers lequel l'électricité puisse se porter, il en résulte ce que l'on nomme des *étincelles*. Ces étincelles pourront se porter à des distances plus ou moins considérables, suivant le degré de tension de l'électricité dans les conducteurs et l'étendue de leur surface ; c'est ce qu'on nomme la *distance explosive*. On la mesure au moyen de l'électromètre de Lannes, qui consiste en deux boules de cuivre dont on mesure la distance par une échelle, et dont l'une communique avec les conducteurs chargés, pendant que l'autre communique avec le réservoir commun.

L'étincelle marche en ligne droite dans les petits intervalles. Mais lorsqu'elle se porte à de grandes distances, elle décrit des angles plus ou moins marqués, comme on peut l'observer dans les éclairs.

L'étincelle est accompagnée d'un bruit proportionnel à son intensité, et que l'on doit attribuer au choc que l'atmosphère éprouve de la part des fluides électriques.

L'étincelle électrique produit une lumière bleuâtre particulière, qui est très-apparente dans l'obscurité : on peut l'attribuer au développement de calorique qui doit résulter de la compression de l'air ou de la combinaison même des deux fluides. Cette lumière a donné lieu à une foule d'expériences plus ou moins curieuses. On peut coller les uns à la suite des autres, et en forme de spirale, autour d'un tube de verre, de petits losanges d'étain qui soient séparés les uns des autres par un petit intervalle. L'étincelle électrique se répétera entre chacun des losanges, et produira ce que l'on nomme le *tube étincelant*. On peut coller sur un carreau de verre de petites bandes d'étain communiquant les unes avec les autres de manière à former un conducteur continu depuis le haut du verre jusqu'en bas ; et si, avec un instrument tranchant, on forme, le long de ce conducteur, de petites solutions de continuité suivant les

contours d'un dessin quelconque, ce dessin paraîtra lumineux dans l'obscurité, en faisant passer un courant électrique d'un bout à l'autre du conducteur d'étain. C'est ce que l'on nomme le *carreau étincelant.*

L'étincelle électrique produit une température plus ou moins élevée, que l'on peut attribuer, comme sa lumière, soit à la compression de l'air, soit à la combinaison des deux fluides; et lorsque cette étincelle a traversé, en le déchirant, un corps non conducteur, on observe une odeur très-prononcée et toute particulière.

Il est intéressant de rechercher les vraies causes de ces différens phénomènes; quant au bruit, il est évident qu'il ne peut dépendre que du choc éprouvé par l'air; quant à la chaleur et à la lumière, on peut les attribuer soit à la compression des couches d'air qui environnent l'étincelle, soit à la combinaison des deux fluides électriques : voici ce que l'expérience apprend sur cette question.

Si l'on prend un petit vase cylindrique dans une situation verticale et à moitié rempli d'eau, si l'on fait communiquer le bas de ce cylindre avec un petit tube de verre recourbé qui s'élève ensuite verticalement à quelques pouces au-dessus du niveau de l'eau dans le premier vase, ce liquide se tiendra à la même hauteur dans le tube et dans le vase, sauf les effets de la capillarité. Si d'une autre part on dispose deux petits conducteurs électriques qui puissent s'envoyer des étincelles dans l'espace vide du premier cylindre, on observera à chaque étincelle une élévation vive et subite du liquide dans le petit tube ascendant. Cet effet ne peut être dû qu'à la compression du liquide par l'air comprimé lui-même par l'étincelle électrique.

Cette expérience prouve que l'étincelle électrique comprime l'air, mais elle ne prouve pas que cette compression

soit assez forte pour produire une température élevée et de la lumière.

Si l'on fait passer une étincelle électrique d'un conducteur à un autre à travers un espace vide d'air, et d'un diamètre considérable, on observera une lumière pâle, occupant exactement tout l'espace vide. Il est d'abord probable que la lumière n'est pâle qu'à cause du grand espace qu'elle occupe et qu'elle remplit; et ce qui le prouve directement, c'est qu'on peut lui donner le plus grand éclat en rétrécissant l'espace vide jusqu'à le ramener au volume apparent de l'étincelle électrique dans l'air.

Un morceau de charbon pur, placé dans un espace vide ou rempli de gaz azote, entre les deux pôles d'une forte pile galvanique, devient incandescent, et conserve cet état tant que dure l'action de la pile, sans que le charbon éprouve la plus légère altération.

Des faits que nous venons d'exposer, il résulte que l'air est comprimé par l'étincelle électrique et la comprime ;

Que le bruit est causé par la compression subite de l'air par l'étincelle;

Que la chaleur et la lumière sont le produit de la réunion des deux fluides électriques;

Enfin que ces deux phénomènes sont portés d'autant plus loin, que les fluides qui se réunissent sont actuellement resserrés dans un plus petit espace.

Ces observations serviront à nous expliquer la fusion des conducteurs insuffisans.

L'électricité dans le vide présente un certain nombre de phénomènes remarquables. D'abord, ainsi que nous avons eu l'occasion de l'annoncer précédemment, un conducteur ne saurait rester chargé dans un espace vide d'air: l'électricité s'en échappe de toutes parts, et semble traverser librement le vide pour se porter sur les corps environ-

nans. Ce phénomène est tellement prononcé, que le vide peut servir d'armature extérieure à une bouteille de Leyde. En effet, si l'on dispose un matras plein d'eau, de manière que son extérieur réponde dans un récipient où l'on puisse faire le vide, et qu'on fasse communiquer l'eau avec une machine électrique, l'appareil se chargera comme une bouteille de Leyde ordinaire, c'est-à-dire que l'électricité vitrée, repoussée à la surface externe du matras, traversera le vide du récipient, pour se perdre dans le réservoir commun.

L'électricité qui traverse un espace vide y passe sans bruit, mais non pas sans produire de la lumière. On peut remarquer, dans l'obscurité, que le vide du baromètre devient lumineux lorsqu'on fait osciller la colonne de mercure, et qu'elle électrise le verre par frottement. Si l'on prépare un tube de verre monté en cuivre à ses deux extrémités, et dans lequel on puisse faire le vide, chaque étincelle électrique produira dans ce tube une lumière d'un bleu clair, qui sera d'autant plus intense que le tube sera plus étroit et l'étincelle plus forte; et si, au lieu d'un tube, on se sert d'un récipient ayant la forme de deux cônes opposés base à base, la lumière bleue paraîtra remplir tout cet espace.

Lorsque l'électricité traverse des corps conducteurs d'un volume considérable, elle ne paraît occuper que leur surface, et ne produit en eux aucun changement sensible, pas même la moindre élévation de température. Mais si l'on essaie de faire passer une grande quantité d'électricité par un fil métallique d'un petit diamètre, le conducteur métallique, quelque parfait qu'il soit en lui-même, peut devenir ce que l'on nomme *insuffisant* : alors le fil s'échauffe, rougit et peut même se fondre, ou s'oxider si l'opération se fait dans l'air. On conçoit en effet que l'élec-

tricité qui se meut à la surface du conducteur présente une étincelle d'autant plus volumineuse que la surface du fil est plus grande, et qu'au contraire la même quantité d'électricité doit être réduite à un beaucoup plus petit volume, si la surface du fil est beaucoup diminuée. Dès lors la température, résultat de l'union des deux fluides, se produisant dans un espace plus circonscrit, peut s'élever jusqu'à fondre le métal.

On observe que les étincelles qui ne fondent pas les conducteurs ne sont pas visibles, tandis que celles qui ne trouvent qu'un conducteur insuffisant et qui le fondent, deviennent lumineuses.

Un fil de fer d'une assez grande longueur peut éprouver tous ces effets par la décharge d'un nombre suffisant de batteries; le métal se résout alors en petits globules semblables à ceux qui résultent du choc du briquet.

Si l'on rend la charge électrique encore plus considérable relativement à la capacité du conducteur, le métal peut être non-seulement fondu et oxidé, mais encore prodigieusement divisé et lancé avec force dans toutes sortes de directions. Si l'on prend un fil d'or, d'argent ou de cuivre, qu'on le tende à la surface d'une feuille de papier blanc, et qu'en cet état on le fasse traverser par une forte décharge électrique, le fil métallique disparaîtra, en laissant sur le papier des traces indélébiles de couleurs variées, qui iront en s'écartant des deux côtés de la ligne à laquelle répondait le fil. On a profité de ce phénomène pour imprimer d'une manière solide un dessin quelconque, un portrait, par exemple, sur un morceau de satin. Pour y réussir, on place dans une petite presse en bois plusieurs doubles de papier, un morceau de satin, une découpure dont les jours représentent la figure que l'on veut obtenir, une feuille d'or, un assez grand nombre de nouvelles

feuilles de papier, et l'on comprime le tout assez fortement; on fait ensuite passer une forte décharge électrique à travers la feuille d'or qui est oxidée et projetée dans tous les sens, en sorte que l'on trouve la figure imprimée en couleur pourpre indélébile sur le satin blanc.

L'électricité produit des effets remarquables en traversant les corps non conducteurs; et l'on conçoit que, pour que cela ait lieu, il est nécessaire que leur étendue soit moindre que la distance explosive entre les deux conducteurs au milieu desquels on les place. On peut ainsi percer aisément une carte en la plaçant entre deux pointes. Mais si ces deux pointes ne se correspondent pas exactement, on trouve que le trou répond toujours à celle des deux pointes qui a fourni le fluide vitré, circonstance très-favorable au système qui expliquait les phénomènes électriques par le plus ou moins d'électricité contenue dans les corps, et qui suppose au moins que le fluide vitré a toujours une plus forte tension que le fluide résineux, et fait en quelque sorte plus de la moitié du chemin lorsqu'il se réunit au fluide résineux.

Si l'on place un morceau de bois bien sec entre deux pointes, et qu'on le fasse traverser par une forte décharge électrique, le morceau de bois sera brisé en éclats, à la face interne desquels on reconnaîtra la trace anfractueuse du passage de l'étincelle.

L'étincelle électrique étant accompagnée d'un développement de chaleur considérable, on conçoit qu'elle enflamme les corps combustibles; en effet, de l'éther ou de l'alcool placés dans un godet métallique s'allument aisément par la plus faible étincelle électrique. Du coton saupoudré de résine s'allume par une forte étincelle. Enfin, tous les mélanges gazeux inflammables détonnent aisément par le même moyen. Cette dernière circonstance

a produit l'instrument connu sous le nom de *pistolet de Volta*. Il consiste en un vase de métal ou d'un cristal épais, dans lequel on mêle un peu de gaz hydrogène à l'air atmosphérique qu'il contient naturellement, et que l'on ferme ensuite avec un bouchon de liége. Dans l'intérieur de ce vase se trouve un petit conducteur de cuivre isolé au moyen d'un tube de verre, qui se termine en dehors par une petite boule de cuivre, et qui présente intérieurement une petite solution de continuité. Il suffit alors de la plus petite étincelle électrique pour produire la combinaison de l'hydrogène avec l'oxigène, et une forte détonation qui chasse le bouchon avec violence. Cette expérience a été modifiée de beaucoup de manières à l'époque où les phénomènes électriques étaient en possession de fournir des amusemens. Mais Volta en a fait une heureuse application à l'*eudiomètre*, qui porte aussi son nom.

Quoique l'étincelle électrique paraisse, comme nous venons de le voir, susceptible de déterminer la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène, elle paraît également propre, dans d'autres circonstances, à en opérer la séparation. S'il est facile de s'assurer que l'eau est un conducteur de l'électricité, on peut aisément reconnaître aussi que ce conducteur est imparfait ; car, si l'on fait pénétrer dans un tube plein d'eau, deux fils métalliques dont les extrémités s'approchent à une petite distance, de fortes étincelles électriques passeront d'un fil à l'autre en séparant les élémens de l'eau interposée, et à chaque étincelle on verra s'élever dans le liquide de petites bulles de gaz oxigène et hydrogène, qui s'accumuleront au sommet du tube. Mais si l'on prolonge l'expérience assez long-temps pour que les deux fils cessent de plonger dans l'eau, la première étincelle qui traversera le mélange gazeux le

fera détoner et reproduira en un instant toute l'eau qui avait été peu à peu décomposée.

La combinaison des gaz se conçoit par l'élévation de température ou par la compression ; et quant à la décomposition de l'eau, nous en donnerons la théorie en parlant des effets de la pile voltaïque.

EFFETS DE L'ÉLECTRICITÉ SUR L'ÉCONOMIE ANIMALE.

331. Il paraît démontré que l'électricité joue un rôle très-important dans les êtres organisés en général, et nous nous occuperons de ses rapports physiologiques lorsque nous aurons traité de l'électricité galvanique, nous bornant ici à exposer les effets de l'électricité développée par frottement, sur l'homme sain ou malade, et comme ces effets varient suivant le mode d'électrisation que l'on emploie, nous décrirons d'abord ces différens modes.

On nomme *bain électrique* la situation d'un homme que l'on rend actuellement conducteur d'une grande quantité d'électricité, ou que l'on charge d'une certaine quantité de ce fluide, sans qu'il puisse s'échapper. On obtient aisément le premier effet en faisant toucher avec la main le conducteur d'une machine électrique en action, pendant que les pieds communiquent avec le réservoir commun : ce libre passage de l'électricité à travers le corps considéré comme corps conducteur, ne produit ordinairement aucun effet sensible, et nous dirons, en parlant de l'électricité des nuages, qu'un homme peut être ainsi traversé en quelque sorte par la foudre elle-même sans en éprouver la moindre sensation.

Le second effet, qui consiste à charger le corps comme un conducteur isolé, s'obtient en plaçant le sujet de l'ex-

périence sur un tabouret soutenu par des pieds de verre, et le faisant communiquer avec la machine électrique. Dans cet état, on peut dire que le corps de l'homme se comporte comme le ferait un autre conducteur : l'électricité est tout entière à sa surface; elle produit la répulsion des cheveux et des poils, qui semblent se hérisser, et qui se dirigent vers les corps qu'on leur présente. Cette situation, continuée pendant quelque temps, paraît exciter fortement toutes les fonctions et surtout la transpiration. Il en résulte fréquemment des céphalalgies, des agitations et de l'insomnie. Du reste, les symptômes sont extrêmement variables chez les différens individus, et ce moyen d'électrisation, considéré comme agent thérapeutique, doit être rangé dans la classe des excitans généraux et momentanés.

L'électrisation par les pointes s'obtient en approchant une pointe plus ou moins aiguë des différentes parties du corps d'un homme actuellement électrisé. L'action de ces pointes produit la sensation d'un vent frais ou d'un léger picotement, quand elle n'est pas très-acérée et qu'on l'approche beaucoup. Cette modification est propre à rendre l'action électrique plus prononcée vers les parties du corps dont on approche la pointe.

L'électrisation par étincelle se produit en approchant un conducteur arrondi, des différentes parties du corps électrisé; les étincelles plus ou moins fortes que l'on obtient produisent un sentiment de piqûre ou une douleur pongitive, ou même, en les multipliant vers le même lieu, une véritable inflammation de la peau. Lorsqu'on les dirige sur des organes musculaires, et particulièrement sur les membres, chaque étincelle produit des contractions subites et involontaires. Si l'on promène le conducteur arrondi à la surface extérieure des vêtemens, il en résulte

une suite de très-petites étincelles qui produisent la sensation de très-vives piqûres.

On voit que ce mode d'électrisation doit exciter beaucoup plus vivement et plus localement que le bain électrique ; il agit aussi particulièrement sur le système musculaire ; mais le plus souvent une atonie très-prononcée succède à l'excitation momentanée.

L'électrisation par la bouteille de Leyde consiste à faire servir les organes du corps de conducteurs entre l'intérieur et l'extérieur de cette bouteille, et par conséquent à les faire traverser tout à coup par une très-grande quantité de fluide électrique. Il paraît que, dans cette circonstance, les organes de l'économie présentent, en quelque sorte, un conducteur interrompu ; car il en résulte non-seulement une secousse générale, mais encore des chocs particuliers, qui se font principalement sentir dans le lieu des articulations : une très-faible étincelle de cette nature, tirée avec le bout du doigt, fait éprouver un choc dans l'articulation de la troisième phalange avec la seconde. Une plus forte peut faire éprouver des chocs dans les poignets, dans les coudes, dans les épaules et même dans la poitrine. Ce genre d'étincelle produit en même temps des contractions musculaires d'où résulte la flexion subite des membres, ce que l'on doit attribuer à la prédominance générale des fléchisseurs sur les extenseurs.

Les effets que nous venons de décrire sont rarement utiles et peuvent devenir dangereux pour peu que l'étincelle soit trop forte : aussi doit-on faire usage d'une très-petite bouteille de Leyde ; car, toutes choses égales d'ailleurs, les secousses intérieures sont beaucoup plus violentes quand elles proviennent de la faible charge d'une grande bouteille que d'une charge plus forte d'un petit appareil.

Il est facile de faire participer un grand nombre d'individus à la secousse produite par une bouteille de Leyde : il suffit de les faire tous communiquer en se tenant la main, et de faire toucher au premier l'extérieur de la bouteille, pendant que le dernier touche un conducteur qui pénètre dans l'intérieur; c'est ce que l'on appelle *faire la chaîne*. C'est alors que l'on peut juger de la variété des effets électriques sur les divers individus; car, tandis que les uns éprouvent une commotion violente dans plusieurs articulations, les autres la ressentent à peine.

On conçoit qu'à l'époque de la découverte des machines électriques on a dû fonder les plus grandes espérances sur les effets thérapeutiques de l'électricité, que l'on a d'abord, en effet, considérée comme un remède pour ainsi dire universel. Néanmoins l'expérience n'a point réalisé cet espoir, et maintenant on ne peut considérer l'électricité dont nous venons de traiter, que comme un moyen excitant qui peut produire quelques bons effets dans certaines paralysies et dans quelques maladies atoniques, mais auquel il paraît qu'on peut toujours substituer avec avantage l'action de l'électricité galvanique.

DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

332. Depuis les brillantes découvertes de Franklin, qui ont démontré, comme nous le dirons dans l'article suivant, que les phénomènes de la foudre dépendent de l'électricité des nuages, on a étudié l'électricité de l'atmosphère elle-même, indépendamment de toute influence étrangère, et l'on conçoit que, pour en prendre une idée, il faut faire des expériences par un temps serein, dans une atmosphère exempte d'humidité, et dans un lieu décou-

vert, suffisamment éloigné des arbres et des bâtimens. En observant ces conditions, il est facile de constater que les différentes couches atmosphériques sont dans des états électriques différens ; que leur électricité est presque toujours vitrée ; enfin, que la quantité de cette électricité va en s'accroissant à mesure qu'on s'éloigne de la surface du globe.

Si l'on prend un électroscope à feuilles d'or, surmonté d'une pointe très-aiguë, et qu'on l'élève de quelques mètres dans l'atmosphère, les feuilles d'or divergent aussitôt par une électricité vitrée. Si l'on place une boule métallique à l'extrémité d'une perche isolante, qu'en cet état on l'élève dans l'atmosphère, et qu'ensuite on l'abaisse pour en toucher l'électroscope, on conçoit qu'elle n'aura pu prendre l'état électrique des parties supérieures de l'atmosphère, à cause de l'isolement ; mais si l'on a eu soin d'y fixer un fil métallique très-fin, et qu'avant de la faire redescendre on ait rompu ce fil, la boule fera diverger l'électroscope, et l'électricité sera vitrée. L'expérience peut être faite d'une manière encore plus saillante. Si l'on attache la boule métallique à un fil métallique très-fin et très-long, dont l'autre extrémité tienne faiblement à la boule de l'électroscope, en jetant la boule en l'air avec orce, elle s'élevera d'abord de toute la longueur du fil; mais, en la dépassant, elle détachera ce fil de l'électroscope, qui demeurera électrisé vitreusement.

MM. Gay-Lussac et Biot, dans un voyage aérostatique, ont attaché à un électroscope un fil métallique très-long, suspendant une boule de cuivre qui se trouvait ainsi placée beaucoup plus bas que leur nacelle, et ils ont trouvé que l'électricité de la boule, transmise par le fil, était résineuse; ce qui, loin d'être en opposition avec ce que nous avons dit de l'état vitré de l'atmosphère, en est au con-

traire une conséquence naturelle ; car ils étaient alors placés au-dessus de la couche atmosphérique dont ils examinaient l'électricité, et si les couches supérieures de l'atmosphère paraissent vitrées relativement aux inférieures, réciproquement les couches inférieures doivent paraître résineuses relativement aux couches supérieures.

On a présumé que l'état électrique de l'atmosphère pouvait avoir une très-grande influence sur l'économie animale; que son état ordinaire, que nous venons de décrire, était favorable à l'exécution de nos fonctions, et qu'au contraire un état opposé pouvait devenir nuisible. Or, cet état contraire est fréquemment produit, comme nous le dirons bientôt, par l'influence des nuages; et l'on observe, en effet, que, pendant les orages ou à leur approche, les individus d'une constitution nerveuse éprouvent des troubles très-marqués. Toutes ces considérations sont encore extrêmement vagues, et nous sommes loin de connaître le mode et le degré d'influence que l'électricité atmosphérique peut avoir sur les phénomènes de la vie.

DE L'ÉLECTRICITÉ DES NUAGES.

333. Les nuages qui flottent dans l'atmosphère peuvent être considérés comme des corps conducteurs d'un immense volume, et parfaitement isolés au milieu de l'atmosphère sèche qui les environne. Ces nuages doivent leur origine à des vapeurs aqueuses qui se sont élevées de différens points de la surface du globe, et qui ont éprouvé ensuite un mode de condensation particulier qui les a converties en vapeurs vésiculaires. Ces nuages peuvent être électrisés par différentes causes; 1° par le fait même de la vaporisation de l'eau, qui suffit pour constituer dans

des états électriques différens la masse d'eau qui s'évapore et la vapeur qui s'en échappe; 2° parce que les différens points du globe où ces vapeurs ont pris naissance, peuvent se trouver dans des états électriques différens, comme l'existence des courans électriques autour du globe semble le démontrer; 3° parce qu'il est possible qu'au moment de la conversion des vapeurs proprement dites en vapeurs vésiculaires l'état électrique soit modifié.

S'il arrive qu'un nuage chargé d'électricité vitrée, par exemple, s'approche d'un autre nuage à l'état naturel, il agira sur lui par influence, comme nous l'avons exposé précédemment pour des conducteurs métalliques, et il pourra en résulter une étincelle qui prend alors le nom d'*éclair*, et dont le bruit, qui souvent ne se fait entendre que long-temps après les effets de lumière, porte plus particulièrement le nom de *tonnerre*, quoique les deux effets soient dus à la même cause.

Si deux nuages chargés de deux électricités contraires viennent à s'approcher, les mêmes phénomènes se produiront à plus forte raison; il faut même remarquer que les nuages flottans dans l'atmosphère doivent se repousser quand ils sont chargés d'électricités semblables, et s'attirer dans les autres cas; ce qui tend à multiplier les effets dont nous venons de parler.

Lorsque les nuages chargés d'électricité viennent à s'approcher de la terre, ils agissent sur son fluide naturel, et il peut en résulter une étincelle qui vienne frapper les objets placés à la surface du globe. C'est alors qu'on dit que *le tonnerre tombe*, et que cette étincelle produit, sur une très-grande échelle, les phénomènes de combustion, de fusion, de déchiremens, etc., que nous avons vu produire en petit par la décharge d'une batterie électrique.

Indépendamment des effets simples que nous venons

d'indiquer, on observe quelquefois un phénomène plus composé, auquel on a donné le nom de *choc en retour*. En effet, lpeut arriver qu'un homme soit tué par la foudre sans qu'il se soit produit ni étincelle ni bruit dans le lieu où il était placé. Pour expliquer ce phénomène, supposons un homme placé sur un lieu élevé, et qu'au-dessus de lui se trouve l'extrémité d'un nuage allongé, fortement électrisé : il est évident que l'électricité vitrée du nuage attirera fortement l'électricité résineuse de l'homme et du sol voisin, en repoussant au loin l'électricité vitrée; mais s'il arrive que l'autre extrémité du nuage allongé s'approche assez de quelque édifice élevé ou d'un autre nuage pour se décharger tout à coup par une étincelle, l'influence qu'il exerçait sur l'homme cessera tout à coup, et le fluide vitré du réservoir commun viendra se réunir, dans les organes de l'homme, au fluide résineux qui les occupait seul ; ce qui pourra produire une commotion interne assez violente pour déterminer la mort.

Les étincelles électriques qui se portent d'un nuage à un autre, ou d'un nuage à la terre, produisent trois effets distincts pour le spectateur éloigné, savoir : une vive lumière d'une nature particulière et qui porte plus spécialement le nom d'*éclair;* un trait de feu qui s'aperçoit en même temps, qui suit dans l'espace une marche anguleuse, et qu'on appelle plus communément *la foudre;* enfin, un bruit considérable et variable dans sa nature, que l'on désigne plus spécialement sous le nom de *tonnerre*. Ces phénomènes n'ont pas lieu simultanément pour le spectateur éloigné, attendu que la lumière parcourt l'espace beaucoup plus vite que le son ; d'où il suit que l'on peut apprécier la distance à laquelle l'explosion s'est faite, en comptant le nombre de secondes qui s'écoulent entre la lumière et le bruit, chaque seconde représentant 337^m de distance.

Le bruit de la foudre peut être violent, déchirant, et composé en quelque sorte d'une suite très-rapide d'explosions ; c'est ce qu'on nomme *éclat* du tonnerre, et c'est le genre de bruit qu'on entend lorsque l'étincelle se passe entre un nuage et la terre. Dans d'autres circonstances, le bruit de la foudre se compose d'une première explosion, forte et grave, suivie, à des intervalles sensibles, d'une suite d'autres explosions dont l'intensité diminue, et qui produisent une sorte de *roulement*. Ces effets résultent ordinairement des étincelles qui se portent d'un nuage à un autre, et l'on attribue la répétition du bruit à des réflexions produites par les surfaces des nuages, et qui constituent de véritables échos.

Tout ce que nous venons de dire sur la foudre et les éclairs était loin d'être expliqué avant l'immortel Franklin. Il soupçonna le premier l'analogie qui pouvait exister entre ces grands phénomènes naturels et les effets électriques qu'il avait observés. Il communiqua ce soupçon aux physiciens d'Europe, et ce fut en 1752 que Dalibard, ayant élevé près de Marly-la-Ville une barre de fer de quarante pieds, terminée à son sommet par une pointe et isolée par en bas, reconnut, au premier passage d'un nuage orageux, que cette barre donnait tous les signes ordinaires de l'électricité. Depuis que cet appareil, perfectionné sous le nom de *paratonnerre*, est devenu usuel, on a été à même de constater de toutes les manières cette identité de l'électricité des nuages avec celle de nos machines. Mais Franklin avait devancé ces résultats par l'invention aussi hardie qu'ingénieuse de *cerfs-volans* électriques.

Si pendant un orage on élève dans l'atmosphère un cerf-volant de taffetas, garni de pointes métalliques, et dont la corde soit tissue de matières conductrices; si cette corde s'enroule sur un treuil supporté par des colonnes

isolantes, on voit l'électricité, descendant le long de ce conducteur délié, présenter, avec une intensité souvent effrayante, tous les phénomènes que nous reproduisons en petit dans nos appareils artificiels. Des étincelles de plusieurs pieds peuvent s'échapper de ce conducteur et frapper les corps voisins : la terre et le sable sont remués et attirés avec force; on entend un souffle impétueux, des craquemens violens qui avertissent de ne point s'approcher de l'appareil ; mais la position la plus redoutable où l'expérimentateur puisse se trouver, est celle où tenant entre ses mains la corde du cerf-volant pour en faciliter l'ascension par quelque secousse, il sent inopinément le fluide électrique traverser ses organes, et n'ose abandonner le conducteur dans la crainte d'en être foudroyé; position dangereuse où s'est trouvé le célèbre Charles, en répétant les expériences de Franklin.

On conçoit que de semblables expériences exigent beaucoup d'instruction et de prudence; et le physicien Richmann a été foudroyé par un conducteur isolé qu'il avait fait pénétrer jusque dans l'intérieur de son cabinet.

Les phénomènes électriques qui se passent entre les nuages ne produisent pas toujours le bruit et le trait lumineux qui constituent la foudre. On aperçoit souvent, lorsque la température est élevée, des scintillations plus ou moins brillantes, que l'on nomme vulgairement éclairs de chaleur, et qui ne sont accompagnées d'aucun bruit. On peut supposer que ces effets dépendent d'étincelles électriques trop éloignées pour que le son puisse parvenir jusqu'à nous ; mais il est plus probable qu'ils proviennent des irradiations de quelques nuages isolés et surchargés d'électricité, phénomène analogue à ce que présentent nos conducteurs électriques, quand ils se trouvent dans cette situation.

L'eau liquide étant un bon conducteur de l'électricité, il est facile de concevoir que les pluies abondantes qui accompagnent les orages, les font complétement cesser en rétablissant l'équilibre électrique entre la terre et les nuages. Nous remarquerons encore que, dans l'état orageux de l'atmosphère, les nuages sont en quelque sorte découpés et parfaitement distincts les uns des autres; qu'ils se meuvent pendant l'orage d'une manière souvent fort irrégulière, et qu'ils changent continuellement de forme, pour ne plus présenter à la fin qu'une réunion homogène, qui ne produit plus de phénomènes électriques apparens; toutes circonstances qui sont d'accord avec les explications théoriques que nous avons données.

Nous ferons remarquer en dernier lieu, que dans le cas où les nuages réunis en une masse homogène ne présentent aucun phénomène électrique saillant, ils peuvent cependant se trouver uniformément chargés d'une certaine quantité d'électricité qui peut exercer des influences à la surface du globe; et c'est pourquoi l'électricité atmosphérique paraît souvent beaucoup plus sensible sous une calotte de nuage que par un temps serein. Il peut même arriver que cette électricité atmosphérique devienne résineuse par suite des mêmes influences.

DES PARATONNERRES.

334. Les découvertes de Franklin ont fourni des moyens précieux de préserver les habitations des hommes, des atteintes de la foudre, et l'appareil employé à cet usage porte le nom de *paratonnerre*. Sa construction a été perfectionnée depuis cette époque, et nous allons décrire les paratonnerres dont on fait actuellement usage.

On fixe solidement dans le point le plus élevé d'un bâtiment, une barre de fer cylindrique de trente à quarante pieds de hauteur, et dont l'extrémité supérieure est formée par une pointe de platine très-effilée : on préfère ce métal, parce qu'il n'est point sujet à l'oxidation, et qu'il est très-difficile à fondre. Jusqu'ici l'établissement d'une semblable pointe ne serait propre qu'à attirer le fluide électrique, qui pourrait ensuite traverser le bâtiment et causer des accidens, si on ne lui fournissait un conducteur suffisant et parfaitement continu pour le transmettre au réservoir commun. A cet effet, on attache à la partie inférieure de la tige de fer une grosse corde métallique, formée de fils de fer tordus ensemble et bien goudronnés pour la préserver de l'oxidation; on conduit cette corde le long de l'extérieur du bâtiment, en ayant soin de ne l'y fixer que par des attaches en bois, et on la fait ainsi parvenir dans un trou profond pratiqué en terre, ou mieux dans un puits, en ayant soin de détordre l'extrémité inférieure de la corde pour lui faire présenter un grand nombre de pointes, ou même de l'attacher à plusieurs branches de fer qui se portent, en divergeant, dans le sol.

On a remarqué qu'un semblable paratonnerre exerçait une action préservative complète sur toute la surface d'un cercle que l'on décrirait avec la tige du paratonnerre comme rayon. En conséquence cette action est d'autant plus étendue, que la tige du paratonnerre est plus haute, et il convient de multiplier ces appareils autant que l'étendue des bâtimens à préserver l'exige.

Le paratonnerre que nous venons de décrire soutire peu à peu l'électricité des nuages, et prévient par conséquent l'éclat d'une étincelle, qui, du reste, serait sans danger, le conducteur étant suffisant et bien continu. Il est cependant une circonstance où la pointe du paraton-

nerre peut être frappée de la foudre. Cela arrive lorsqu'un nuage, voisin du paratonnerre, reçoit tout à coup la décharge électrique d'un autre nuage; la pointe n'a pas alors le temps de soutirer cette électricité; elle est frappée d'une étincelle, et elle peut être fondue dans une assez grande étendue, comme on en a quelques exemples.

On a proposé de substituer des paratonnerres à boule aux paratonnerres à pointe; ils peuvent présenter la même sécurité; mais ils ont l'inconvénient de ne préserver le bâtiment qu'en recevant eux-mêmes l'étincelle foudroyante, en sorte qu'ils peuvent devenir des conducteurs insuffisans, et qu'ils laissent subsister la frayeur et le trouble qu'un semblable événement ne manque jamais d'occasioner.

On se sert, dans les cabinets de physique, pour démontrer les avantages du paratonnerre, et la nécessité d'une parfaite continuité dans son conducteur, d'une petite maison de fer blanc dont le toit et les côtés peuvent se séparer, et dans laquelle on place un pistolet de Volta et des matières combustibles. Lorsque le conducteur est bien continu, la plus forte étincelle électrique ne produit aucun effet, et lorsqu'il présente une solution de continuité, il y a explosion et inflammation des corps combustibles.

On conçoit facilement l'utilité de ces appareils pour toutes les habitations, et on a peine à imaginer comment leur usage n'est pas devenu plus général. Mais ils sont particulièrement indispensables pour les magasins à poudre et les ateliers où on la fabrique.

Il faut ici avouer la faiblesse d'esprit qui a peut-être été la seule cause du peu d'usage que les particuliers font du paratonnerre; nous dirons que tous les physiciens ayant expliqué l'usage des pointes, en disant qu'elles *at-*

tiraient ou *soutiraient* l'électricité des nuages, on s'est senti épouvanté de l'idée de travailler soi-même à forcer un ennemi aussi redoutable que la foudre, à traverser son habitation.

Quelque vaine que soit cette crainte, il n'est peut-être pas inutile de la détruire complétement par la véritable théorie de l'action du paratonnerre.

Lorsqu'un nuage électrique se trouve placé au-dessus d'un de ces appareils, le fluide naturel est décomposé par son influence. Si l'électricité du nuage est vitrée, le fluide résineux attiré dans le paratonnerre s'écoule à grands flots par la pointe, et va saturer l'électricité du nuage, pour le réduire à l'état naturel, en sorte qu'il n'est pas exact de dire que les paratonnerres soutirent l'électricité des nuages, mais que, tout au contraire, les paratonnerre fournissent aux nuages l'électricité qui leur manque, et détruisent ainsi dans ces nuages la faculté de produire aucune étincelle dangereuse.

Ainsi se trouve détruite, non seulement cette crainte d'attirer le tonnerre, mais encore un autre préjugé non moins puissant, qui veut que les habitations voisines de celle qui est armée d'un paratonnerre soient, par là même, plus exposées que d'autres à être foudroyées.

Il faut se représenter que tout nuage électrisé qui a passé au-dessus d'un paratonnerre, a nécessairement perdu toutes propriétés dangereuses; on peut même assurer qu'une contrée dans laquelle les paratonnerres seraient très-multipliés, serait par cela même beaucoup moins exposée aux orages, mais surtout aux orages violens. Aucun doute, par exemple, qu'un nombre suffisant de pointes métalliques placées sur les points les plus élevées du sol, et surtout dans la direction des vents, qui amènent ordinairement les nuages orageux, ne devînt un excellent préservatif des

orages violens, et même de la grêle, comme nous l'expliquerons plus tard.

RAPPORT DE L'ÉLECTRICITÉ AVEC LA PLUIE ET LA GRÊLE.

335. Les deux phénomènes météorologiques si communs, de la pluie et de la grêle, ont des rapports tellement intimes avec l'électricité, que beaucoup de physiciens pensent qu'elle en est la cause principale.

Nous avons vu que les vapeurs aqueuses, transportées dans les hautes régions de l'atmosphère, se convertissaient en vapeur vésiculaire qui constitue les nuages. On peut admettre que l'état électrique de cette vapeur vésiculaire est une des principales causes qui écartent ses molécules, en sorte qu'au moment du contact avec un autre nuage, ou d'une communication libre avec le sol, les particules d'eau se rapprochent tout à coup et forment les gouttes qui produisent la pluie. Dans tous les cas, il est certain que les étincelles électriques qui constituent la foudre, déterminent la résolution des nuages en liquide; il en résulte presque toujours d'abondantes averses. Il faut aussi remarquer que la pluie qui tombe ainsi est toujours chargée d'électricité vitrée qui devient sensible dans un paratonnerre isolé.

La *grêle* se compose de masses de glace de formes arrondies, et dont le volume varie depuis les plus petits grains, jusqu'à celui d'un œuf d'autruche ou même davantage. On peut concevoir que la température très-basse des hautes régions de l'atmosphère donne lieu à la solidification de l'eau; mais il semble que toutes ses particules devraient rester séparées en formant de petits cristaux isolés, comme on l'observe effectivement dans la neige.

Pour concevoir comment les grains de grêle peuvent s'accroître et se développer, il faut admettre que les gouttes d'eau qui se solidifient, se trouvant situées entre deux nuages différemment électrisés, en sont alternativement attirées et repoussées, et parcourant ainsi un grand nombre de fois l'intervalle qui sépare les nuages, se grossissent de la vapeur d'eau qu'elles rencontrent sur leur passage, et qui se solidifie couche par couche, jusqu'à ce que le poids absolu du glaçon l'emportant sur les attractions électriques, le fasse tomber en chute libre vers la terre. Ce qui fortifie cette explication hypothétique, donnée pour la première fois par Volta, c'est que les grêlons très-gros ne se forment jamais que pendant les orages très-violens.

Une expérience familière semble indiquer en quelque sorte le genre de mouvement que les grains de grêle peuvent exécuter entre les nuages. On prend un récipient de verre posé sur un fond métallique, et qui porte dans son intérieur un plateau de cuivre qui communique à l'extérieur par une tige de même métal, et l'on place sur le fond une grande quantité de petites boules de moelle de sureau. Si l'on vient à électriser le plateau supérieur pendant que l'inférieur communique avec le réservoir commun, les boules de moelle de sureau se portent alternativement de l'un vers l'autre avec une grande vélocité. Cet appareil porte même le nom de grêle électrique.

CHAPITRE II.

ÉLECTRICITÉ GALVANIQUE.

336. On donne le nom d'*électricité galvanique* à la cause qui développe certains effets électriques au simple contact

de corps hétérogènes, même de corps semblables diversement échauffés. Long-temps on a cru que le fluide qui produit ces phénomènes était différent des fluides électriques résineux et vitré dont nous avons supposé l'existence; mais on est parvenu à rattacher tous les faits à la même théorie, quoique l'on continue à employer les expressions d'électricité et de phénomènes galvaniques, pour les distinguer de l'électricité par frottement et de ses effets.

L'histoire des sciences doit en général être bannie des sciences élémentaires, où l'on ne doit faire entrer que les lois, les faits et leurs preuves; mais l'histoire du galvanisme fait exception à cette règle pour des élémens de physique spécialement destinés aux études médicales. Il est en effet doublement intéressant pour nous, d'observer comment ces phénomènes galvaniques, qui promettent de si grandes ressources à la médecine et qui doivent fournir de si belles applications à la physiologie, ont eux-mêmes une origine toute médicale et physiologique.

Galvani, dont le nom est devenu si célèbre, était médecin et professeur à Bologne; il s'occupait avec ardeur de recherches physiologiques qui, suivant l'esprit du temps, avaient pour objet principal des questions relatives au principe vital. Il faisait en 1789 de curieuses expériences, dont nous allons rendre compte.

Galvani avait suspendu dans son cabinet des cuisses de grenouilles récemment dépouillées, et cette suspension était opérée au moyen d'un crochet de cuivre engagé dans les nerfs lombaires. Une machine électrique, placée dans la même pièce, mais à une grande distance des cuisses de grenouilles, était chargée d'électricité d'une manière continue, et on en tirait de momens en momens des étincelles. Galvani observait qu'à chaque décharge électrique les muscles des grenouilles entraient en contrac

tion. Ce fait est, comme on voit, un exemple du choc en retour dont nous avons parlé. En effet, la machine chargée de fluide vitré repoussait le fluide de même nature dans les muscles, les nerfs et le support des cuisses de grenouilles; mais au moment où la machine était déchargée par l'étincelle, ce fluide vitré rentrait par les nerfs et déterminait les contractions.

Quoi qu'il en soit, Galvani ayant terminé pour le moment ses expériences, suspendit les cuisses de grenouilles dont il avait fait usage, au balcon de sa fenêtre qui était en fer; il fut fort étonné de remarquer, au moment même, de nouvelles contractions des muscles. L'influence de la machine ne pouvant plus jouer aucun rôle dans ce nouvel incident, il en observa soigneusement les circonstances et ne tarda pas à s'assurer que les contractions avaient lieu dans le moment où le crochet de cuivre portant sur la barre de fer, les muscles venaient à toucher une autre partie de cette barre; il en conclut qu'une communication métallique, établie entre les nerfs qui se distribuent dans l'intérieur des muscles et la surface externe de ces organes, était la condition nécessaire des contractions.

L'expérience nouvelle fit bientôt grand bruit dans le monde savant, et fut répétée sous toutes les formes possibles.

L'idée théorique que Galvani proposa, et qui fut généralement accueillie et défendue pendant long-temps, consistait à établir que les organes vivans produisaient un fluide analogue à l'électricité; que les nerfs et l'extérieur des muscles se trouvaient nécessairement chargés d'une manière opposée à peu près comme l'intérieur et l'extérieur d'une bouteille de Leyde, et qu'au moment où, par le moyen d'un conducteur métallique, on faisait communiquer les nerfs avec l'extérieur des muscles, il se produisait

une petite commotion qui déterminait la contraction.

On fut tellement convaincu de la vérité de cette explication, que le fluide en question fut nommé électricité animale.

Si personne ne révoquait en doute la réalité d'un fluide produit par les organes et s'y comportant comme nous l'avons dit, on n'était pas également d'accord sur la nature de ce fluide; les uns, à la tête desquels se trouvait naturellement Galvani, soutenaient que ce fluide, malgré certaines analogies avec l'électricité ordinaire, était d'une nature toute spéciale; ils croyaient avoir découvert le fluide nerveux proprement dit; les autres pensaient que ce prétendu fluide nerveux n'était que l'électricité ordinaire, et considéraient seulement les organes vivans comme de véritables appareils électriques. Ceux-ci s'appuyaient principalement sur le fait remarquable que le fluide animal ne pouvait être conduit que par des substances métalliques formant ce qu'on appelait l'*arc excitateur*, par analogie avec le nom de l'instrument dont on se sert pour faire communiquer l'intérieur d'une batterie électrique avec son extérieur. Il était remarquable, en effet, qu'en établissant la communication des nerfs aux muscles de la grenouille avec des corps non conducteurs de l'électricité ordinaire, on n'obtenait jamais aucune contraction. Galvani répondait qu'une seule analogie, savoir, la propriété d'être conduit par les mêmes corps, ne suffisait pas pour établir l'identité des deux fluides.

Jusque là, on avait fait à peine attention à une circonstance du phénomène qui devait par la suite devenir la principale; savoir, que pour obtenir de grands effets de contraction des muscles de la grenouille, il fallait que deux métaux différens entrassent dans la composition de l'arc excitateur.

Volta, professeur à Pavie, à qui l'électricité doit tant de belles découvertes, et qui à cette époque avait déjà imaginé le précieux instrument que nous avons décrit sous le nom de condensateur, fut le premier à signaler cette circonstance et à attribuer au contact des deux métaux différens, la production de l'électricité qui, jusque-là, l'avait été aux organes eux-mêmes. Cette vue nouvelle renversant toutes les idées physiologiques que l'on s'était plu à fonder sur l'électricité animale, éprouva de vives contradictions. D'abord on objecta qu'un seul métal aussi pur qu'on peut se le procurer, étant employé comme arc excitateur suffisait pour déterminer des contractions faibles, il est vrai, mais très-sensibles. Galvani alla plus loin, et fit voir que les nerfs lombaires, eux-mêmes, directement appliqués sans intermède à la surface extérieure des muscles déterminaient des contractions. Volta répondit alors par une proposition plus générale que la première, savoir, qu'il se produisait des phénomènes électriques par le seul contact de deux substances hétérogènes quelconques, mais que le contact des métaux donnait seulement lieu à des phénomènes plus saillans.

Jusque-là, la question restait indécise, les deux prétentions opposées pouvaient être également soutenues et partageaient les esprits. Il était réservé au célèbre professeur de Pavie, d'arriver à la preuve expérimentale que le contact de deux métaux produisait de l'électricité, en tout semblable à celle qu'on excite par le frottement, et qui avait été seule connue jusqu'alors; c'est-à-dire, déterminant des attractions et des répulsions entre les petits corps comme l'électricité ordinaire.

Volta obtint cette preuve à l'aide de son condensateur. Deux métaux différens ayant été mis en contact, il fit

voir que chacun d'eux mis successivement en rapport avec le plateau collecteur de son instrument, en faisait diverger les pailles, mais que l'un des métaux donnait toujours une électricité positive lorsque l'autre fournissait une électricité négative. En sorte que dans ces deux substances hétérogènes, chacune d'elles se constituait également dans des états d'électricité opposés.

Cette belle découverte, qui a exercé depuis une si grande influence dans les sciences naturelles, renversa complétement le système de l'électricité animale. L'arc excitateur devint l'appareil de production, et les organes animaux furent réduits au rôle de conducteur de l'électricité, mais ce conducteur sensible et contractile avait le mérite d'annoncer par ses mouvemens, le passage de quantités d'électricité si petites, qu'elles n'auraient probablement jamais pu être découvertes par d'autres moyens, en sorte que si les organes des animaux ont perdu le privilége de produire l'électrité particulière qui porte le nom de galvanisme, ils sont restés le galvanomètre le plus sensible que nous connaissions.

Nous devons remarquer ici que, par un retour qui n'est pas sans exemple dans les sciences naturelles, vers les idées qui se sont d'abord emparées des esprits des observateurs d'un fait nouveau, chaque jour nous rapproche davantage de la pensée que les appareils nerveux sont, en effet, des producteurs de quelques fluides analogues au galvanisme, et sur lesquels l'électricité extérieure n'exerce une action si marquée peu de temps après la mort, que parce qu'elle les excite d'une manière fort analogue à l'action qu'ils déterminaient eux-mêmes pendant la vie.

PHÉNOMÈNES FONDAMENTAUX DU GALVANISME.

337. Si l'on superpose deux lames métalliques de nature différente, ou mieux si l'on soude ensemble deux morceaux de deux métaux différens, de zinc et de cuivre, par exemple, si d'une autre part on dispose un condenseur très-sensible, ou dont les deux plateaux ne soient séparés que par un morceau de taffetas ou une couche de vernis à la gomme laque, après s'être assuré que l'instrument ne contient aucune quantité d'électricité, si l'on saisit de la main gauche le côté du zinc de la pièce préparée, que l'on applique l'extrémité de cuivre au plateau inférieur du condenseur, et qu'on touche avec le doigt humide, de la main droite, le plateau supérieur, le tout pendant un seul instant, lorsqu'on soulevera rapidement la plateau collecteur, il fera diverger d'une manière sensible les pailles ou les lames d'or d'un électromètre, et il sera facile de s'assurer avec un bâton de résine frotté, que l'électricité accumulée est de nature négative ou résineuse, observant toutefois que le cuivre qui compose les plateaux soit de la même nature que celui qu'on a soudé au zinc.

Si l'on renouvelle l'expérience en tenant à la main le côté cuivre, et faisant toucher le zinc au plateau du condenseur, on n'obtiendra aucun effet sensible, mais si l'on substitue au plateau de cuivre du condenseur, des plateaux de zinc, l'expérience réussira. Dans le dernier cas, l'électricité sera vitrée; en touchant le plateau de zinc avec le côté cuivre, il ne se produira aucun effet.

Il résulte de cette expérience simple et fondamentale, que les deux métaux, soudés ensemble, contractent deux

électricités opposées, savoir : le cuivre une électricité négative; le zinc, une électricité positive.

Il est évident que ces deux électricités sont répandues sur toute la surface libre de chaque métal ; car il importe peu de toucher le condenseur par l'un ou l'autre des points de cette surface, les effets restent les mêmes.

Il est également évident que la tension de ces deux électricités répandues à la surface des deux métaux est excessivement faible; car, en touchant directement avec ces métaux l'électroscope le plus sensible, il n'en éprouve aucun effet apparent, et la tension électrique qui produit la répulsion ne peut être rendue visible qu'au moyen du condenseur, encore est-elle toujours très-peu considérable.

Une autre proposition très-importante, qui découle encore de cette unique expérience, c'est que la tension électrique qui existe à la surface des deux métaux est susceptible de se rétablir instantanément lorsqu'on l'a diminuée par un contact avec un autre conducteur, ou qu'on l'a fait cesser complétement par une communication avec le réservoir commun. En effet, si la tension électrique du cuivre, par exemple, était produite une fois pour toutes et non susceptible de renouvellement, cette tension ne ferait que se répandre dans le plateau du condenseur ; elle diminuerait nécessairement par ce partage ; et, au contraire, on voit l'électricité s'accumuler dans ce condenseur, ce qui suppose que la tension électrique primitive se répète et se multiplie au fur et à mesure qu'elle est en quelque sorte éteinte dans le plateau collecteur. Nous disons que cette reproduction d'électricité est instantanée ou du moins extrêmement rapide, car il suffit du contact le plus court possible pour porter le condenseur au maximum de charge qu'il peut recevoir par cette voie.

Comme tous les points de chacun des métaux soudés en-

semble ont un caractère électrique, que le point du cuivre le plus voisin de la ligne de jonction a un caractère électro-négatif, tandis que le point correspondant du zinc au côté opposé de cette ligne, a un caractère électro-positif, il faut en conclure que l'action ou la force quelconque qui sépare ainsi les deux électricités, a son siége dans le plan de jonction des substances métalliques. On a donné à cette puissance le nom de *force électro-motrice.*

Nous avons dit que le condenseur ne se chargeait pas lorsque son plateau était en cuivre rouge, et qu'on le faisait toucher par le zinc; en effet, il est évident que le zinc est ici entre deux cuivres, qu'il y a par conséquent deux actions opposées qui se détruisent; il en est de même lorsque le condensateur étant en zinc on le fait toucher par le côté cuivre; car alors le cuivre se trouve entre deux zincs.

Il en arriverait tout autrement si, en faisant toucher le côté zinc au plateau de cuivre du condenseur, on interposait entre les métaux un petit morceau de papier humide. La présence de ce corps, en s'opposant au contact des deux métaux, empêcherait le développement de la force électro-motrice; mais comme ce petit corps est en même temps conducteur de l'électricité, il permettrait au fluide positif du zinc de se répandre dans le condenseur qui se chargerait alors presque aussi bien que si l'on avait touché son plateau avec le côté cuivre. Cette remarque est importante, parce qu'elle forme une des bases de la théorie de la pile.

Quels que soient les métaux différens que l'on essaie de réunir de la même manière, ils se constituent toujours dans deux états électriques opposés. Des expériences très-nombreuses et fort délicates ont même démontré que toutes les substances hétérogènes mises en contact, produi-

sent exactement les mêmes phénomènes, à l'intensité près.

Les métaux qui produisent à un haut degré l'action électro-motrice, se chargent pourtant tantôt d'électricité positive, et tantôt d'électricité négative, suivant qu'on les met en contact avec tel ou tel autre métal, aussi le cuivre rouge qui devient électro-négatif dans son contact avec le zinc, prend l'électricité positive dans son contact avec le platine, tandis que le platine devient électro-négatif.

Il est très-probable que le platine, ou l'or, si l'on pouvait les mettre dans un contact permanent avec le potassium, présenteraient un maximum d'électro-motion; mais le cuivre rouge et le zinc, métaux communs et faciles à manier, présentent déjà le phénomène dans une intensité très-remarquable.

L'expérience que nous venons de citer, et de laquelle, comme on voit, on peut déduire un si grand nombre de conclusions importantes, n'est pas le seul moyen de rendre la production de l'électricité apparente.

Si l'on goûte séparément une pièce de cuivre et une pièce de zinc, on ne leur trouvera aucune saveur appréciable; mais si on les superpose incomplétement et qu'on applique la langue en même temps sur les deux métaux, on sera frappé d'une saveur très-forte, piquante et provoquant la salivation.

Si l'on place sous la langue le bord d'une pièce de zinc, et sous le frein de la lèvre supérieure le bord d'une pièce de cuivre, à l'instant où l'on fera rencontrer ces deux pièces par quelques points de leurs surfaces, on éprouvera tout à coup la saveur indiquée, et en outre les personnes les plus impressionables croiront apercevoir une lueur bleuâtre, rapide comme un éclair.

Si l'on dépouille rapidement une grenouille, qu'on en sépare les cuisses par la section des vertèbres lombaires,

en ménageant la réunion des nerfs cruraux ; si l'on enveloppe le paquet de ces nerfs d'une petite feuille d'étain repliée sur elle-même, si l'on pose ensuite les cuisses à plat sur une lame de cuivre bien décapée, en mettant les membres dans la flexion et appuyant les pates contre un obstacle résistant, au moment où l'on touchera la petite feuille d'étain avec un petit excitateur d'argent, déjà en contact par son autre extrémité avec la lame de cuivre, les muscles extenseurs se contracteront subitement avec énergie; les cuisses seront projetées au loin, comme si leurs organes jouissaient encore de la vie.

Aujourd'hui que nous connaissons l'expérience décisive de Volta, on ne peut attribuer les divers phénomènes de sensations et de mouvemens que nous venons de rapporter qu'à la réunion à travers les organes, des deux électricités que le contact des deux métaux différens sépare.

DE LA FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.

338. Il est impossible que nous nous fassions une idée de la nature de cette puissance qui se développe et réside dans le plan de contact de deux corps différens; mais suivant notre méthode habituelle de philosopher, nous avons dû supposer son existence, en observant des phénomènes de mouvement que nous ne pouvions expliquer que par elle; il nous reste maintenant à étudier les lois qu'elle suit dans son action.

Lorsque deux lames de métaux différens sont superposées, elles prennent dans toutes leurs parties des états électriques opposés; si les deux plans métalliques sont isolés, les tensions électriques contraires sont excessivement faibles et atteignent très-promptement leurs limites. Nous devons en conclure que cette force a la propriété de

décomposer dans notre théorie le fluide naturel, et d'écarter les deux électricités qui, par leur nature, tendent à se réunir. La tension étant très-faible et promptement limitée, nous devons croire que le phénomène s'arrête au moment où la puissance électro-motrice est en équilibre avec l'attraction réciproque des deux fluides développés. Il faut bien admettre aussi que le fluide naturel est inépuisable, puisqu'en faisant disparaître les deux tensions opposées, elles se rétablissent aussitôt, et indéfiniment.

L'intensité de la force électro-motrice varie avec la nature des substances que l'on met en contact; elle est très-grande entre le cuivre et le zinc, par exemple. Cette intensité n'a, au contraire, aucun rapport avec l'étendue des surfaces par lesquelles les métaux se touchent; car deux grandes plaques de cuivre et de zinc prennent exactement la même tension que deux petites, et deux plaques qui se touchent par toute leur étendue prennent la même tension que deux plaques qui ne se touchent que par un seul point.

La propriété de séparer les deux fluides l'un de l'autre n'est pas la seule que doive posséder la force électro-motrice. Il faut encore lui supposer celle de s'opposer à leur réunion, mais elle ne s'y oppose que dans les mêmes limites où elle peut produire leur séparation; en effet, si, lorsque deux lames de cuivre et de zinc sont superposées, on venait à communiquer un excès de fluide négatif à la lame de cuivre, ce fluide passerait dans le zinc, malgré la résistance de la force électro-motrice, et jusqu'à ce que le cuivre fût ramené à la faible différence de tension qu'il aurait pu prendre par la force électro-motrice isolée.

Nous admettons encore, comme principe nécessaire à l'explication du phénomène, que la force de l'action électro-motrice reste constante, quelles que soient les quan-

tités d'électricité étrangère dont les métaux peuvent être pénétrés par d'autres causes; c'est-à-dire que, si nous représentons par l'unité la différence des états électriques du cuivre et du zinc dans leur contact à l'état naturel, cette différence serait encore la même si l'un et l'autre étaient chargés d'une quantité étrangère quelconque d'électricité. Nous avançons ici, et nous expliquerons plus tard, qu'il est très-difficile de concevoir les phénomènes de la pile, en ne supposant à la force électro-motrice d'autre puissance que celle qui est nécessaire pour expliquer la séparation des très-petites quantités de fluide libre qui se trouvent sur les deux métaux opposés. Nous sommes très-portés à croire que cette force jouit d'une bien plus grande énergie; qu'elle sépare, des deux côtés du plan de contact, de très-grandes quantités des deux fluides contraires, qui, retenus néanmoins par leur attraction réciproque, sont dans l'état d'électricité dissimulée, sauf les petits excédens dont on peut constater directement l'existence.

Nous comparons ainsi, avec M. Biot, les deux lames de métaux superposées, à l'appareil que nous avons décrit sous le nom de *carreau électrique*. La lame de verre, qui, dans cet appareil, sépare les deux électricités accumulées et dissimulées dans les surfaces métalliques, est parfaitement représentée, sous le rapport de l'obstacle à la réunion des fluides, par la force électro-motrice située dans le plan de contact des deux métaux. La différence, c'est que la lame de verre ne peut pas charger le carreau électrique, et qu'il faut y introduire une électricité étrangère, tandis que la force électro-motrice a, par elle-même, la propriété de charger les deux lames métalliques. De cette différence en découle une autre très-importante : c'est que le carreau électrique se décharge par une seule étincelle, et ne peut plus être mis en jeu que par une charge nou-

velle venant de l'extérieur et qui exige toujours un temps considérable; tandis que, dans le contact des deux métaux, la force électro-motrice recharge continuellement l'appareil, et avec une telle rapidité, que, dans le cas même où l'on fait communiquer par un fil conducteur, les deux faces opposées des métaux, ce fil devient le siége d'un courant électrique tellement abondant que le fil de communication peut en être rougi et fondu.

Dans le contact de deux métaux, comme dans le carreau électrique, les tensions électriques sont très-faibles sur les deux faces opposées dans l'état d'isolement, quoique le courant devienne abondant et rapide au moment où l'on établit une communication par laquelle les deux électricités peuvent se joindre; seulement dans le carreau électrique le courant est momentané, tandis qu'il se continue dans l'appareil galvanique, pour les raisons déjà déduites.

Enfin, si l'on superpose un grand nombre de carreaux électriques, on les chargera tous en en chargeant un seul, et nous verrons qu'il se passe quelque chose d'analogue dans la construction de ce qu'on appelle une pile galvanique. Nous reviendrons sur ce sujet en donnant la théorie de cette pile.

DES EFFETS CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ GALVANIQUE.

339. Nous avons reconnu une identité parfaite entre la nature intime des phénomènes électriques et celle des phénomènes galvaniques, ou plutôt nous avons trouvé que ces derniers pourraient s'expliquer par la théorie admise des deux fluides contraires. Mais il y a dans le mode même de

la production de ces fluides, dans les appareils galvaniques, quelque chose qui modifie essentiellement les effets produits; savoir la continuité et l'abondance de l'électricité fournie par ces appareils. Cette seule condition suffit pour expliquer la différence des effets.

Un fil métallique mince est rougi et fondu par un courant galvanique ; la plus forte étincelle de la plus grande machine électrique ne saurait produire cet effet. Ici la vitesse du courant existe, mais l'abondance du fluide manque, et le fil n'est pas même échauffé. Mais si l'on accumule dans un appareil à électricité dissimulée (batterie électrique), une grande quantité des fluides opposés, au moment où on leur permettra de se réunir, par un conducteur insuffisant, le fil sera rougi et fondu; il y aura eu en effet vitesse et abondance de fluide avec la batterie électrique. Il sera impossible de répéter immédiatement cette action; car la batterie est déchargée, et il faut un temps considérable pour la remettre dans son état primitif : avec l'appareil galvanique on pourra répéter immédiatement, et autant de fois qu'on le voudra, l'expérience ; car la batterie galvanique (qu'on nous passe cette expression) se recharge d'elle-même instantanément.

Si l'on emploie l'électricité ordinaire pour stimuler les contractions des muscles d'un animal récemment mort, le courant électrique n'existera que pendant un temps infiniment court; et comme, ainsi que nous l'avons dit, la contraction musculaire se fait avec une vitesse très-bornée, cette contraction cessera d'être excitée avant d'être devenue complète, et on n'obtiendra que des secousses musculaires au lieu de ces contractions pleines et continues que les muscles présentent pendant la vie.

Si l'on excite les mêmes organes au moyen d'un appareil galvanique, comme le courant est continu, il déter-

minera une contraction complète des muscles, et des effets tout semblables à ceux que présentent ces organes vivans.

Si l'on rend les organes du goût conducteurs d'une certaine quantité d'électricité ordinaire, ils ne nous transmettront qu'un sentiment de piqûre plus ou moins douloureux. Cet effet sera purement tactile, le tact étant de lui-même instantané; mais nous n'éprouverons pas de saveur, parce que le développement de cette sensation exige un temps assez considérable. Avec l'appareil galvanique, la sensation de piqûre pourra être également éprouvée, mais celle de saveur aura le temps de se développer pendant l'action d'un courant continu.

Si l'électricité ordinaire ne présente de phénomène saillant que quand elle est arrivée à un haut degré de tension (ce qui est une conséquence nécessaire de ce que la tension est, dans ce mode d'électrisation, le seul moyen d'accumuler de grandes quantités de fluides, et de déterminer des courans abondans), il faut en excepter les appareils à électricité dissimulée, qui peuvent présenter de grands effets sous une faible tension apparente.

Dans les appareils galvaniques, au contraire, la force qui les charge ne peut produire que des tensions extrêmement faibles, quoiqu'elle puisse déterminer des courans abondans et rapides.

L'électricité ordinaire reconnaît comme bons conducteurs un très-grand nombre de substances, indépendamment des métaux; l'eau liquide, par exemple, ou la vapeur humide sont d'excellens conducteurs de cette électricité. Les corps qui en sont chargés la cèdent avec la plus grande facilité, et perdent promptement tout leur caractère électrique; aussi devient-il nécessaire d'isoler ces corps par des soutiens très-mauvais conducteurs.

L'électricité galvanique présente, sous ce rapport, des effets bien différens; il n'y a que les métaux qui la conduisent bien; l'eau liquide s'en laisse à peine traverser; l'épiderme sec qui recouvre le bout des doigts est un obstacle suffisant pour l'empêcher de pénétrer nos organes. Pour qu'elle puisse passer librement d'un fil métallique à un autre, il est nécessaire que le contact soit absolu, qu'aucune couche d'oxide ou d'impureté non métallique ne sépare les deux fils; on a même coutume de les plonger tous deux dans un peu de mercure pour assurer cette continuité; de là vient qu'il ne faut que de bien faibles précautions pour isoler les conducteurs de cette électricité; un peu de soie, un morceau de bois sec sont des supports isolans qui suffisent dans tous les cas.

On ne sera pas surpris de ces différences, si l'on se rappelle que, d'après les recherches de Coulomb, les déperditions électriques sont en raison directe des tensions.

Nous verrons dans la suite qu'un des caractères principaux du fluide galvanique est de communiquer à des fils métalliques, qui sont actuellement le siége d'un courant de ce fluide, des propriétés toutes nouvelles, en vertu desquelles ces fils attirent le fer, prennent, par rapport à la terre, des directions particulières quand ils sont mobiles, influent sur celles de l'aiguille aimantée, etc. Si de semblables phénomènes n'ont point été observés dans des fils conducteurs qui servent de passage à l'électricité ordinaire, cela tient uniquement à ce que ce passage est tellement rapide et dure si peu, qu'il est impossible de rien observer pendant son existence. Des expériences directes ont d'ailleurs prouvé qu'un grand nombre de décharges électriques, passant à travers un même fil métallique à des intervalles rapprochés, produisent des effets tout semblables à ceux d'un courant galvanique continu.

340. *Pile voltaïque.* Volta, qui a découvert la nature du fluide galvanique, est aussi l'inventeur d'une des machines les plus importantes que nous possédions, et qui a pour but de multiplier et d'accroître l'action réciproque des métaux différens, au point de produire les plus grands effets. On a nommé cet appareil *pile voltaïque* ou *pile galvanique*, à cause de sa disposition première, que nous allons décrire.

Volta plaçait l'un sur l'autre un disque de cuivre et un disque de zinc : sur cette réunion, qu'on nomme *couple métallique*, il plaçait une rondelle de drap imbibée d'une légère dissolution saline; sur cette rondelle, un nouveau couple disposé dans le même ordre; puis une nouvelle rondelle de drap, et ainsi de suite; de manière à faire une colonne maintenue dans sa position verticale par trois tiges de verre, commençant en bas par une pièce de cuivre, se terminant en haut par une pièce de zinc, et se composant, dans cette longueur, de couples métalliques séparés par des rondelles de drap.

Lorsqu'une pile est ainsi disposée, si l'on touche d'une main l'extrémité inférieure, et de l'autre l'extrémité supérieure, en ayant soin de mouiller les doigts, parce que l'épiderme est un très-mauvais conducteur, il se produit une petite étincelle, et l'on éprouve une forte secousse semblable à celle que produit la décharge d'une bouteille de Leyde. Mais si l'on continue à laisser les deux doigts en contact, on éprouve une sorte de frémissement très-prononcé dans les membres qui servent de conducteurs; et, lorsqu'au lieu du corps on fait communiquer les extrémités de la pile par des fils métalliques, entre lesquels on puisse placer toute sorte de substances, on obtient des effets extrêmement énergiques dont nous ne tarderons point à rendre compte.

La disposition primitive, dont nous venons de parler, a été modifiée, d'après l'expérience, d'une manière avantageuse. On se sert maintenant de plaques carrées, composées d'une lame de cuivre et d'une lame de zinc, soudées par une de leurs faces, et qui constituent les couples. On place ces couples dans une auge horizontale en bois, et on les y fixe avec du mastic, parallèlement et à quelque distance les uns des autres ; on verse ensuite une dissolution saline ou une eau acidule dans les intervalles de ces couples, et l'on voit que le liquide lui-même remplace ici les draps mouillés, que le poids des métaux comprimait dans la pile de Volta. Cette construction, qui porte le nom d'*appareil à auge*, suffit à la plupart des expériences et nous servira à développer la théorie. Nous indiquerons ensuite quelques modifications encore plus modernes.

Pour concevoir comment l'électricité se comporte dans un semblable appareil, il faut considérer l'état de chaque couple métallique et leur influence les uns sur les autres ; et, pour s'expliquer avec plus de facilité, on est convenu de nommer *négative* l'électricité résineuse qui se porte du côté du cuivre, et *positive* l'électricité vitrée qui se porte du côté du zinc. Cela posé, imaginons (*fig.* 127) une série de couples métalliques A, B, C, D, E, F, placés parallèlement les uns aux autres. Nommons c le cuivre, et z le zinc. Admettons encore que la lame c du couple A communique avec le réservoir commun.

Nous avons vu que dans un couple isolé les électricités *négative* et *positive* se portaient vers les surfaces extérieures des lames c et z, en sorte que l'on pourrait nommer $-\frac{1}{2}$ l'électricité de c, et $+\frac{1}{2}$ l'électricité de z; mais on conçoit, d'après nos principes sur les influences électriques, que si c communique avec le réservoir commun, il y perdra son électricité $-\frac{1}{2}$, et que l'électricité de z s'accroîtra

au point de devenir + 1. Il est évident que cette unité représente la quantité d'électricité que la force électromotrice est capable de repousser du plan de contact, et que sa valeur varie suivant la nature des substances hétérogènes que l'on met en rapport.

Nous avons supposé l'existence d'une dissolution saline ou acidule entre les différens couples, et l'expérience prouve que ces sortes de liquides sont conducteurs de l'électricité : il en résulte que l'électricité + 1, qui se trouve à la surface *z* du couple A, se communiquera à la surface *c* du couple B. Si ce couple B eût été le premier, la surface *z* aurait pris d'elle-même une électricité + 1 ; mais comme sa surface *c* reçoit déjà du premier couple une électricité + 1, il en résulte que l'électricité de la face *z* du couple B sera + 2 ; et en continuant le même raisonnement, on trouve que la face *z* du couple C, aura pour électricité + 3 ; celle du couple D, + 4 ; celle du couple E, + 5 ; celle du couple F, + 6, etc., autant qu'il y aura de couples placés successivement les uns à la suite des autres. Si l'on considère dans cette même pile l'état successif des lames de cuivre, on trouvera celle du couple A à 0, celle du couple B à + 1, du couple C à + 2, du couple D à + 3, du couple E à + 4, et du couple F à + 5 ; en sorte que, conformément à l'expérience et à la théorie, il y aura dans chaque couple la même différence entre les deux faces opposées. D'où il résulte que, si un appareil semblable communique avec le réservoir commun par son extrémité cuivre ou *négative*, l'extrémité opposée contractera une électricité *positive* proportionnelle au nombre de couples dont la pile se compose. On conçoit encore que si l'on avait commencé par faire communiquer la surface *z* du couple F avec le réservoir commun, des phénomènes inverses auraient eu lieu suivant la même

loi, et que l'électricité de la surface c du couple A aurait été représentée par -6.

On voit que, dans la disposition que nous venons de décrire et d'analyser, le réservoir commun est la source qui alimente la production d'électricité positive ou négative qui se porte vers l'extrémité de la pile ; mais cette source ordinaire de toute électricité n'est nullement nécessaire à la production des phénomènes de la pile, comme il est facile de s'en assurer, en examinant une pile isolée. En effet, on trouve que les deux extrémités de la pile sont chargées d'électricités opposées, et qu'en les réunissant par un conducteur, il s'établit un courant tout aussi énergique que dans le cas de la communication avec le réservoir commun ; d'où il suit que la pile peut tirer d'elle-même des quantités indéfinies de fluides électriques, qui se portent vers ses extrémités.

Pour analyser l'état électrique des différentes parties de la pile isolée, nous pouvons désigner par x l'état électrique inconnu de la face c du couple A (*fig.* 128) ; l'état électrique de la face z sera exprimé par $x+1$; la face z du couple B donnera $x+2$, et ainsi de suite jusqu'au dernier couple, qui donnera $x+6$. Quant aux six surfaces de cuivre, leur électricité sera x, $x+1$, $x+2$, $x+3$, $x+4$, $x+5$. En prenant les sommes des électricités du zinc, on aura $6x+21$; en prenant les sommes des électricités du cuivre, on aura $6x+15$. Or, il est de principe que la somme des électricités de chaque couple doit être égale à zéro, et conséquemment que les sommes de toutes les électricités cuivre et de toutes les électricités zinc doivent être égales à zéro ; ce qui donne

$$6x+21+6x+15=0;$$

et si l'on tire de cette équation la valeur de x, on trouve $x=-3$, c'est-à-dire que l'électricité de la surface c du

couple A sera — 3; et comme les côtés c, successifs diffèrent entre eux d'une unité, nous aurons pour la série des électricités des différentes surfaces c, — 3, — 2, — 1, 0, + 1, + 2. D'un autre côté, les six plaques de zinc seront nécessairement — 2, — 1, 0, + 1, + 2, + 3. D'où il suit que la plaque z du couple C, et la plaque c du couple D seront à zéro, c'est-à-dire dans l'état naturel; que la première plaque de cuivre sera — 3, et la dernière de zinc + 3. Si le nombre des couples était impair, on trouverait les électricités des deux plaques du couple moyen $-\frac{1}{2}$ et $+\frac{1}{2}$, c'est-à-dire au même état que s'il était isolé.

On conçoit que les considérations que nous venons d'établir donnent la *tension électrique* des différens points de la pile; mais si l'on veut avoir une idée de la quantité du fluide électrique qui peut la parcourir dans un temps donné, il faut prendre les sommes des deux progressions et les ajouter. Dans l'exemple choisi, on obtient 15 et 21 qui donnent 36, et l'on trouve que ce nombre est précisément le carré de la tension de la dernière plaque, quand une des extrémités communique avec le réservoir commun, ou le carré du nombre des couples.

L'action du fluide que l'on place entre les couples a donné lieu à beaucoup de discussions parmi les physiciens. Si l'on n'y mettait que de l'eau pure, la pile ne produirait pas ses effets ordinaires, parce que l'eau, qui est assez bon conducteur pour l'électricité dont la tension est considérable, n'est pas capable de conduire l'électricité entre deux plaques dont la tension est excessivement faible. Si l'on emploie de l'eau mêlée de $\frac{1}{40}$ d'acide nitrique, ou de l'eau saturée de sel marin, on obtient aussitôt des effets très-prononcés; ce que l'on attribue à ce que de pareilles dissolutions sont de très-bons conducteurs de l'é-

lectricité. Mais en même temps ces dissolutions agissent chimiquement sur les métaux qu'elles touchent ; ces métaux s'oxident, se dissolvent, et il se produit de la chaleur ; ce qui a fait penser que l'action chimique elle-même pourrait bien être la cause du développement d'électricité. Cependant on peut construire des *piles sèches* avec des couples métalliques séparés par des feuilles de papier, et les enfermer hermétiquement dans un vase de verre ou par une enveloppe de gomme laque ; et M. Zamboni a fait voir que ces sortes de piles, qui ne produisent qu'un faible courant, continuent à produire de l'électricité pendant un temps indéterminé. Il est donc probable que l'action chimique facilite ou accélère le développement de l'électricité, sans lui être indispensable.

D'après les phénomènes fondamentaux que nous avons rapportés, et comme la pile n'est qu'une multiplication des mêmes effets, nous pourrons conclure directement quelques principes qui régissent l'action des piles.

1° Une pile sera d'autant plus puissante, toutes choses égales d'ailleurs, que la force électro-motrice produite par le contact des deux métaux employés sera plus grande. 2° La tension aux extrémités de la pile sera directement proportionnelle au nombre des couples, puisque la force électro-motrice se répète autant de fois qu'il y a de couples ; mais cette tension sera absolument indépendante de l'étendue en surface de ces couples, aussi bien que du nombre de points par lesquels ils se toucheront ; il sera néanmoins essentiel de les souder, non pas pour multiplier les points de contact, comme on pourrait le croire ; mais pour éviter toute interposition du liquide conducteur, qui, comme nous l'avons dit, anéantit par sa présence entre les deux métaux la force électromotrice. 3° La quantité de fluide que la pile sera capable de porter vers les pôles

dans un temps donné, sera directement proportionnelle à l'étendue des surfaces métalliques sur lesquelles l'électricité peut se répandre, pour la transmettre à travers le liquide. 4° La promptitude avec laquelle les fluides se transporteront vers les extrémités de la pile, dépendra du degré de propriété conductrice du liquide interposé; c'est pourquoi la pile garnie d'eau pure ne présente que des courans très-faibles, tandis que celle qui est chargée d'une eau acidule ou saline en donne un très-rapide. Il sera également important que le liquide employé comme conducteur ne détermine pas de force électro-motrice entre lui-même et les métaux qu'il touche, ou du moins que ces forces électro-motrices soient assez petites pour être négligées; car ces forces viennent en opposition avec celle qui se manifeste entre les métaux et en diminuent l'effet : c'est pourquoi il est impossible d'établir la communication entre les couples par d'autres métaux qui seraient cependant les meilleurs conducteurs; en effet, celui qui n'exercerait pas d'action électro-motrice du côté du zinc, en exercerait nécessairement une très-grande du côté du cuivre, et réciproquement.

Jusqu'ici on n'a pas trouvé de corps plus convenable que de l'eau mêlée avec un $\frac{1}{40}$ d'un mélange à parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique, c'est-à-dire que ce liquide réunit, au plus haut degré connu, la propriété conductrice à l'absence des forces électromotrices.

Enfin l'épaisseur du conducteur interposé entre les couples a une grande influence sur la rapidité des courans, puisqu'il est toujours conducteur imparfait. En conséquence l'espace qui sépare les couples doit être aussi petit que possible; mais d'un autre côté, quand les acides sont saturés par la dissolution du zinc, le liquide perd sa propriété conductrice; de sorte qu'il faut laisser un espace

suffisant pour contenir une quantité d'acide qui ne puisse être trop promptement saturée par la dissolution du métal.

Dans la théorie de la pile que nous venons de donner, nous avons supposé la conductibilité des liquides parfaite; ce qui est loin de la vérité, et ce qui est cause, sans nuire à la théorie, que les piles composées d'un plus ou moins grand nombre de couples ne produisent pas des effets directement proportionnels; il en résulte aussi que les constructions de piles dans lesquelles les communications se font par de très-grandes surfaces et à travers des couches liquides très-minces, produisent des effets qui semblent disproportionnés avec le nombre de couples qui les composent.

On conçoit qu'il est facile de construire des appareils galvaniques sous un grand nombre de formes diverses. M. Wollaston a imaginé une modification qui permet d'employer à la fois les influences des deux faces du zinc : cette disposition est indiquée dans la *fig.* 129. Une lame de zinc située verticalement est embrassée par deux lames de cuivre qui sont maintenues à une distance convenable par des corps non conducteurs, et le cuivre d'un de ces élémens communique avec le zinc de l'élément voisin. On peut attacher une série de ces élémens à une traverse en bois, et les plonger tous à la fois dans un liquide conducteur ou dans autant de vases qu'il y a d'élémens.

Cette pile et son action énergique sont une preuve démonstrative de plusieurs des principes que nous avons établis.

La force électromotrice s'exerce dans cet appareil à l'endroit où l'élément zinc d'un couple est soudé avec l'élément cuivre du couple suivant. Cette surface de jonction est très-petite, sans que cela nuise en rien aux effets de la pile.

Les deux surfaces de l'élément zinc sont placées dans le liquide très-près de la surface repliée de l'élément cuivre, et par conséquent les surfaces métalliques sur lesquelles l'électricité peut se répandre, et par laquelle elle peut se communiquer à travers le liquide conducteur, sont extrêmement étendues, ce qui doit produire une grande abondance de fluide dans un temps donné, et c'est précisément le genre de supériorité de cette construction.

On peut encore construire une auge en cuivre, que l'on remplit de liquide conducteur, et dans laquelle on plonge une lame de zinc sans qu'elle puisse la toucher en aucun point. Dans ces dernières modifications, l'appareil voltaïque produit des effets plus puissans de décomposition que dans la pile à auge; mais la tension électrique y est moindre. En général on trouve que les effets de décomposition sont proportionnels à l'étendue des surfaces et seulement à la racine cubique du nombre des élémens.

341. *Piles en hélices.* — Comme on a le plus souvent besoin d'une pile galvanique pour produire des décompositions chimiques, on a cherché à développer au plus haut degré ce genre de propriété de la pile en étendant beaucoup les surfaces de communication. Dans ce but on a imaginé la construction suivante.

On prend un cylindre de bois de trois à quatre pouces de diamètre et de quinze à dix-huit pouces de longueur; on attache sur ce cylindre par un de leur bout et à une petite distance l'une de l'autre, une feuille de zinc et une feuille de cuivre de quinze à dix-huit pouces de largeur sur cinquante à soixante pieds de longueur; on enroule ensuite simultanément ces deux lames métalliques sur le cylindre de bois, en ayant soin de les maintenir séparées l'une de l'autre dans tous leurs points, par l'interposition de

petites bandes de laine ou de petites baguettes d'osier; en adaptant à la lame de cuivre une tige montante du même métal, et à la lame de zinc une autre lame de cuivre dont le contact soit bien parfait, les deux extrémités de ces tiges de cuivre représentent les pôles d'une pile voltaïque d'un seul couple d'une immense surface, et qui produit les plus grands effets chimiques, quoique sa tension soit presque nulle.

Si l'on veut accroître encore les effets de cette pile déjà puissante, on peut rassembler plusieurs spirales construites de la même manière, en faisant communiquer l'élément zinc de l'une avec l'élément cuivre de l'autre, comme dans la pile de Wollaston.

Dans de semblables appareils, les métaux ne doivent rester en contact avec les liqueurs acides que pendant le temps précis des expériences que l'on se propose de faire, sans quoi l'élément zinc serait promptement dissous et détruit; à cet effet on dispose un mécanisme propre à enlever la pile ou à la faire descendre à volonté dans des baquets remplis des liquides acides; on peut encore, comme l'a fait M. Pouillet, rendre la pile fixe en élevant ou abaissant les baquets qui contiennent le liquide.

Lorsqu'on dispose d'un certain nombre de piles d'une moyenne dimension (condition nécessaire pour qu'elles soient maniables), on peut les réunir, en quelque nombre qu'elles se trouvent; et cette réunion peut s'opérer de deux manières différentes, suivant le but qu'on se propose. Si l'on veut obtenir des effets de tension, on réunit toutes les piles au moyen de conducteurs par leurs pôles opposés, c'est-à-dire le pôle zinc de la première avec le pôle cuivre de la seconde, et ainsi de suite, on obtient ainsi une pile unique dont la tension est proportionnelle à la somme des couples, mais dans laquelle le courant n'est

pas plus rapide, et doit même l'être un peu moins que dans une des piles composantes.

Lorsqu'on se propose d'obtenir des courans considérables, on réunit les différentes piles par leurs pôles semblables; leur action s'ajoute ainsi, sans que leur tension soit augmentée.

La pile de la Société royale de Londres, avec laquelle Humphry Davy a découvert la composition des alcalis, était construite sur ces principes. Elle était composée de deux mille paires, les unes de six pouces, et les autres de quatre pouces de côté. Celle de l'Ecole polytechnique était composée de six cents paires d'un pied carré.

Lorsque l'on réunit ainsi plusieurs piles ou que l'on cherche à établir des communications quelconques pour transmettre le fluide qu'elles produisent, il est très-essentiel d'assurer le contact métallique parfait entre les différens conducteurs; la meilleure méthode pour arriver à ce but est de recourber les extrémités de ces conducteurs bien décapés, et de les plonger toutes deux dans un même godet de fer contenant une certaine quantité de mercure qui baigne à la fois les deux fils.

DES PILES SÈCHES.

342. On donne le nom de pile sèche à des assemblages de substances électromotrices dont les couples sont séparés par d'autres matières solides qui jouissent, jusqu'à un certain point, de la faculté conductrice, sans développer de forces électromotrices, qui nuisent à celles des élémens de la pile.

L'art de composer ces sortes de piles est jusqu'ici bien peu avancé; il s'en faut de beaucoup qu'on ait trouvé

parmi les corps solides des substances qui réunissent les avantages que présente un liquide acidule dans les piles ordinaires. Ainsi le papier, légèrement humecté ou dans son état hygrométrique ordinaire, est jusqu'ici ce qu'on a trouvé de mieux, malgré sa faible propriété conductrice; c'est avec lui que sont construites les piles de M. Zamboni.

Pour préparer ces piles, on colle une feuille de zinc ou d'étain sur une des faces d'une feuille de papier, et l'on frotte l'autre face avec du peroxide de manganèse pulvérisé; on superpose un nombre de ces feuilles ainsi préparées, en mettant toujours le zinc en contact avec le manganèse; on les découpe alors en rondelles égales au moyen d'un emporte-pièce; on réunit un très-grand nombre de ces rondelles superposées dans le même ordre, et on les serre au moyen d'une presse pour assurer les contacts et diminuer le volume de la pile.

On peut enfermer cette réunion de rondelles dans un tube de verre vernis intérieurement à la gomme-laque, et dont les deux extrémités sont fermées par deux plaques de zinc et de cuivre. On peut encore envelopper la pile, pendant qu'elle est comprimée, de gomme-laque fondue et appliquée couche par couche, jusqu'à ce que l'enveloppe ait acquis deux lignes d'épaisseur. On se procure aisément ainsi des piles sèches de plusieurs centaines et même de milliers de couples.

Une pile sèche, construite comme nous venons de le dire, présente deux pôles opposés, dont la tension électrique, quoique généralement très-faible, est cependant capable de produire des attractions et des répulsions sensibles. Ce qu'elle présente de plus remarquable, c'est l'extrême lenteur avec laquelle les fluides électriques sont transportés vers leurs deux extrémités. La vitesse de cette

transmission excède à peine la vitesse de la déperdition que ces deux pôles font par l'air; ce qui est cause de la faible tension de ces pôles, qui ne possèdent jamais que le résultat de la différence de ces deux actions.

Il résulte de cet état de la pile sèche, 1° que, quand on a détruit sa tension par un contact, elle est long-temps à revenir à son maximum; 2° que ce maximum est très-variable, suivant l'état hygrométrique de l'air; en sorte que, pour que ces piles jouissent de tout leur pouvoir, il faut les enfermer sous une cloche de verre; 3° que ces piles n'exercent jamais aucune action chimique sensible, parce que ces actions exigent des courans rapides.

M. Zamboni a obtenu un mouvement d'oscillation presque perpétuel en plaçant verticalement deux de ces piles à une légère distance l'une de l'autre, et les faisant communiquer par leurs bases, de façon que leurs sommets présentent leurs pôles opposés. Dans cette situation, une aiguille métallique isolée très-mobile et suspendue par son centre de gravité, peut osciller continuellement entre les deux pôles. En effet, si elle est d'abord attirée par le pôle vitré, elle viendra le toucher, s'électrisera vitreusement, sera repoussée par ce même pôle, et attirée par le pôle résineux; au contact avec ce dernier pôle, elle perdra son électricité vitrée pour en prendre une résineuse, et être de nouveau repoussée vers le pôle vitré qui l'attirera.

On a été plus loin, et on est parvenu à faire de ce mouvement alternatif un mouvement de rotation continu. En effet, si on place un peu au-dessous du niveau de l'aiguille deux conducteurs communiquant avec les deux pôles des piles, et si l'on attache à l'aiguille une petite lame métallique très-flexible qui descende assez bas pour toucher successivement ces conducteurs dans un mouvement de

rotation, sans que l'aiguille puisse jamais les rencontrer elle-même; en imprimant à l'aiguille un léger mouvement de rotation, elle passera au-dessous du pôle vitré, en contractant de l'électricité vitrée; elle sera repoussée en continuant à tourner dans le même sens, parce qu'en vertu du mouvement acquis elle aura dépassé le niveau du pôle; bientôt elle sera attirée par le pôle résineux; elle le franchira de même en contractant de l'électricité résineuse, et la répulsion qui succédera continuera encore le mouvement de rotation dans le même sens. Il convient que cette aiguille n'ait qu'une seule branche, dont le poids soit équilibré par une petite masse située du côté opposé; ou, si elle est double, il faut que ses deux moitiés soient séparées par une substance non-conductrice, afin qu'elles puissent prendre et conserver des électricités opposées.

Aucune des substances qui entrent dans la composition d'une pile sèche n'étant de nature à réagir chimiquement sur les autres à la température ordinaire et dans un lieu hermétiquement clos, il en résulte d'abord la preuve que l'action chimique, qui est si considérable dans les piles ordinaires, et à laquelle on a été tenté d'attribuer les courans galvaniques, n'est pas une condition nécessaire de leur existence; il en résulte encore que ces piles sont un bon moyen de produire une tension électrique constante et durable, tant qu'elles sont enfermées sous une cloche de verre, puisqu'on a vu de ces appareils conserver leur pouvoir pendant plus de vingt années.

M. Bohnenberger a obtenu, au moyen des piles sèches, un électroscope très-sensible : il consiste en une seule feuille d'or suspendue précisément à la même distance des deux pôles d'une pile sèche très-faible. On conçoit que, dans l'état naturel, cette feuille d'or demeure immobile entre deux attractions égales et opposées, et qu'aus-

sitôt qu'on lui communique la plus faible quantité d'électricité, elle est immédiatement attirée par un pôle et repoussée par l'autre ; ce qui double la sensibilité de l'instrument. Au reste son excessive mobilité même et la facilité avec laquelle il se dérange sont des obstacles à son usage.

343. M. Rousseau, amateur très-distingué des sciences naturelles, a fait de la pile sèche une application plus importante dans l'instrument qu'il a nommé diagomètre.

Une aiguille aimantée très-fine et très-légère est supportée par un pivot métallique; un disque de clinquant est porté par une de ses extrémités, et répond dans la direction magnétique de l'aiguille, vis-à-vis et très-près d'un disque métallique vertical qui communique avec le pivot par un conducteur; le tout est posé sur un plateau de résine et recouvert d'une cloche. Le conducteur qui communique au pivot se porte aussi à l'extérieur de la cloche, où se trouve un plateau métallique sur lequel on pose les corps dont on veut essayer la conductibilité; sous le plateau de résine est une pile sèche dont un des pôles communique avec le réservoir commun, tandis que l'autre peut être mis en contact avec le plateau métallique extérieur; à l'instant où ce contact a lieu, le disque métallique fixe est électrisé, en même temps que l'aiguille et son disque mobile; il en résulte une répulsion qui dérange la direction de l'aiguille aimantée d'un certain nombre de degrés, qu'on peut déterminer au moyen d'un arc gradué.

Lorsqu'on agit comme nous venons de le dire, la déviation de l'aiguille est instantanée et arrive immédiatement à son maximum; mais si l'on pose sur le plateau de cuivre un conducteur très-imparfait, comme un morceau de verre, par exemple, et qu'on force l'électricité à le traverser, la déviation de l'aiguille n'arrive à son maximum que dans

un temps très-long. Si le corps était complétement isolant, la déviation ne s'opérerait jamais. Il en résulte que la durée du temps qui s'écoule entre le contact et le maximum de déviation est une bonne mesure du degré de conductibilité des corps interposés. On conçoit que les corps essayés ainsi doivent présenter des dimensions uniformes dans tous les sens, puisque la conductibilité est fortement influencée par l'épaisseur et par l'étendue des surfaces de contact.

M. Rousseau, en essayant par sa méthode et avec son instrument un grand nombre de corps divers, a découvert que le degré de conductibilité pouvait devenir, pour certaines substances, un caractère distinctif très-délicat; ainsi il a vu que le meilleur charbon pour la confection de la poudre de guerre était celui de tous qui conduisait le moins bien l'électricité; il a d'ailleurs observé, sous ce rapport, de très-grandes différences entre les différens charbons.

M. Rousseau a soumis des liquides aux mêmes épreuves, en les plaçant successivement, et en quantités égales, dans un même godet métallique posé sur le plateau extérieur. Il a trouvé ainsi que l'huile d'olive pure conduisait à peine l'électricité, tandis que l'huile de faîne ou d'œillette la conduisent très-bien. La différence est telle, qu'une très-petite quantité de ces huiles, ajoutée à l'huile d'olive pure, suffit pour augmenter beaucoup son pouvoir conducteur. Cette sorte d'épreuve est assez sensible pour faire découvrir de très-faibles sophistications, qui seraient probablement au-dessus des ressources de la chimie analytique.

Il n'y a pas de doute que ces recherches, répétées et multipliées, ne fournissent un grand nombre de données utiles. Il serait par exemple très-intéressant d'étudier, sous

ce rapport, les différens fluides animaux et chacun d'eux dans divers états de maladie.

OBSERVATIONS SUR LA THÉORIE DE LA PILE.

344. Nous avons dû donner la théorie de la pile galvanique telle qu'elle semble généralement adoptée aujourd'hui, et nous regardons également comme un devoir de faire sentir en quoi elle nous paraît insuffisante, et comment nous croyons qu'elle pourrait être modifiée.

D'après la théorie exposée, l'intensité de la force électro-motrice devrait être mesurée par les tensions électriques qu'elle produit; et plusieurs physiciens emploient même l'expression d'*équilibre galvanique* pour indiquer l'état dans lequel se trouve un couple métallique isolé, dans lequel, suivant eux, les effets de la force électromotrice s'arrêtent au moment où la tendance des deux fluides à se réunir lui fait équilibre. Or cette force ainsi évaluée doit être infiniment petite, puisque la tension des électricités est si faible qu'on ne peut la constater ni la découvrir par aucun moyen expérimental; on serait même en droit de nier son existence, puisque les tensions qu'on obtient dans l'électromètre à condenseur ne sont pas le résultat de l'action d'une pile en équilibre, mais bien d'un appareil galvanique dans lequel on a produit un courant.

Il est bien difficile de concevoir qu'une force, assez petite pour produire dans un couple isolé une tension si minime que l'on peut révoquer en doute son existence, puisse tout à coup devenir capable de produire un énorme courant d'électricité, une immense séparation des deux fluides contraires, à l'instant où la pile cesse d'être isolée,

et surtout dans le cas où les deux pôles opposés sont réunis par un conducteur parfait.

Nous disons que ce courant est énorme, que cette décomposition est immense; et ces expressions n'ont rien d'exagéré, comme nous allons le démontrer.

Que l'on prenne la plus grande machine électrique qui existe; que l'on en réunisse, si l'on veut, plusieurs pour charger avec toute la rapidité possible les plus vastes conducteurs; mais que l'on fasse communiquer ces conducteurs avec le réservoir commun par un fil de fer aussi fin qu'un cheveu : il sera impossible d'accumuler la moindre quantité d'électricité sur les conducteurs. Ce fil si fin sera plus que suffisant pour laisser écouler ces énormes quantités de fluide, sans aucune altération de sa part et même sans aucune élévation de température.

Si l'on fait usage d'un appareil à électricité dissimulée, on pourra y accumuler toute l'électricité produite par la machine, en dix minutes par exemple; et alors la somme totale de cette électricité, passant à la fois et instantanément à travers ce fil, pourra le trouver conducteur insuffisant, le rougir et le fondre.

Mais le temps que l'électricité peut mettre à traverser ainsi ce fil doit être infiniment petit, et c'est sans doute une grande exagération de l'estimer à $\frac{1}{10}$ de seconde. Or, s'il a fallu dix minutes pour charger ainsi la batterie, il est évident qu'il faut que ce fil soit traversé dans un temps donné par 6000 fois la quantité d'électricité que la plus grande machine peut produire dans le même temps pour que ce fil soit fondu.

Par opposition, si l'on prend un seul élément d'une pile de Wollaston, de six pouces sur quatre de côté, on fondra instantanément cinquante fils semblables de suite, si on les interpose entre les pôles de cette petite pile.

Il faut donc admettre qu'un seul élément de la pile de Wollaston sépare et produit à chacun de ses pôles 6000 fois autant d'électricité que la plus grande machine électrique en fournit dans le même temps. Comment concevoir que la faible puissance dont nous parlions, il n'y a qu'un moment, puisse séparer et mettre en mouvement ces énormes masses de fluide électrique ?

Une supposition très-simple, d'accord avec un très-grand nombre de phénomènes observés, et qui a été déjà proposée par M. Biot, détruirait la grande invraisemblance que nous venons de signaler.

Admettons, en effet, que la force électro-motrice ait le pouvoir de décomposer, dans le plan de contact, une très-grande quantité de fluide naturel; que les fluides, résultat de cette décomposition, restent de part et d'autre de ce plan de contact, retenus qu'ils seront par leur attraction réciproque, à laquelle la force électro-motrice suffit pour résister, sans être capable de les repousser jusqu'à la surface des conducteurs; et alors tout se concevra avec la plus grande facilité. La tension sera presque nulle, parce que les électricités seront dissimulées : mais au moment où l'isolement cessera, ces grandes masses d'électricité accumulée se mettront en mouvement pour produire les courans; et l'on concevra que la force électro-motrice, qui a pu maintenir séparées ces grandes quantités d'électricité, puisse en séparer et en repousser sans cesse des quantités égales, pour alimenter les courans rapides que l'élément voltaïque produit. L'état réel du couple A (*fig.* 127) ne sera plus représenté par 0 d'un côté et + 1 de l'autre, mais par 0 et + 100 ou 1000; au dixième couple, la quantité d'électricité accumulée dans l'élément *z* sera 1000 ou 10,000; et tous les phénomènes se comprendront.

Une grande objection que l'on peut faire à cette suppo-

sition, c'est que, si un couple voltaïque était ainsi chargé d'une grande quantité de deux électricités opposées, on devrait, en réunissant les deux faces externes par un conducteur, obtenir une violente décharge électrique, comme il arrive avec un carreau électrique.

Il n'est pas impossible de répondre à cette objection; car on sait que la force électro-motrice ne doit agir qu'à des distances infiniment petites, que les deux fluides accumulés en très-grande quantité doivent se tenir en couches très-minces et très-comprimées, extrêmement près du point de contact. Or, il n'est pas déraisonnable de penser que, malgré la qualité conductrice des métaux qui nous semble si parfaite et qui s'opère par leur surface, ces fluides, engagés dans la substance même du métal, ne puissent s'en écouler qu'avec une certaine lenteur. Quelques faits viennent même à l'appui de cette supposition. Quoique l'électricité habite et parcoure ordinairement la surface des corps et qu'elle s'y meuve alors avec une vélocité incommensurable, il est des cas dans lesquels on peut la forcer à passer par l'intérieur même du corps; c'est ce qui paraît arriver lorsqu'on fait passer la décharge d'une batterie à travers un fil métallique qu'elle doit rougir ou fondre. Dans cette circonstance, le passage du fluide, qui devient sensible par la rougeur du fil, est loin d'être aussi rapide que dans un conducteur suffisant; et l'on peut distinctement, dans des expériences, sur un fil très-long (de quinze pieds, par exemple), comme nous l'avons fait, suivre de l'œil le mouvement indiqué par la couleur rouge.

D'un autre côté, si l'on décharge une batterie quelconque par un contact absolu, mais momentané, on trouve constamment, après la décharge, une quantité notable d'électricité qui ne s'est point échappée avec la masse principale. On sait, du reste, que cette électricité était située

précisément à la surface du verre, où elle peut demeurer quand on enlève les armatures. Il n'est donc pas invraisemblable que l'électricité d'une batterie éprouve quelque difficulté à s'échapper, et il est très-naturel que celle d'un couple voltaïque en éprouve une beaucoup plus grande, puisque la première pouvait être en grande partie logée entre l'armature et le verre, et que la seconde est nécessairement tout entière dans la substance du métal.

L'obstacle ainsi aplani, nous ne voyons aucune difficulté à admettre, avec M. Biot, que les élémens d'une pile sont effectivement chargés d'une grande quantité d'électricité dissimulée, et à la considérer comme une batterie électrique qui se recharge continuellement par l'influence de la force électro-motrice. Cette manière de considérer la force électro-motrice nous paraît d'ailleurs beaucoup mieux d'accord avec l'importance du rôle que cette puissance jouera incessamment dans tous les phénomènes du monde physique, dont elle semble le moteur général.

ACTION DE LA PILE SUR LES CORPS INORGANIQUES.

345. La découverte du précieux instrument dont nous venons de donner une idée en a fait naître une foule d'autres dans la composition de beaucoup de corps naturels; car le *courant* qui s'établit entre les deux extrémités d'un appareil galvanique produit sur les corps des effets extrêmement remarquables.

Si l'on fait passer le courant galvanique à travers un conducteur suffisant, on n'observe aucun phénomène apparent : il n'y a plus aucune tension dans l'appareil; et cependant, comme nous le verrons bientôt, ce conducteur

présente alors des phénomènes d'attraction et de répulsion d'une très-haute importance (*Voy.* Electrodynamie).

Si le conducteur est insuffisant, par exemple si l'on fait usage d'un fil métallique très-fin, ce fil s'échauffe, rougit et fond, comme par une forte décharge électrique; mais cette action est persistante et continue, au lieu d'être instantanée comme dans le premier cas.

Si l'on fait passer un courant galvanique d'un morceau de charbon à un autre, en les plaçant dans le vide, ces charbons deviennent incandescens, extrêmement lumineux, sans perdre pourtant aucune partie de leur poids. Mais si le courant est considérable, une partie du charbon est enlevée à l'un des pôles, où il se forme une cavité, et transportée à l'autre où il se forme une saillie qui présente des traces de fusion.

L'expérience doit être faite de la manière suivante. On dispose un globe de verre elliptique dont les deux extrémités, ouvertes et disposées comme deux tubulures, sont garnies en cuivre et munies de boîtes à frottement, par lesquelles pénètrent deux tiges de cuivre à pointe, qui peuvent ainsi s'approcher et s'éloigner à volonté; on arme chacune de ces pointes d'un morceau de charbon récemment calciné au blanc, en ayant soin que la tige de cuivre pénètre profondément dans le charbon; du reste, ces deux morceaux doivent être taillés en pointe mousse du côté par où ils se regardent. On fait le vide, dans cet appareil, par une troisième tubulure; on rapproche beaucoup les deux pointes de charbon, et l'on met en communication les deux tiges avec les deux pôles d'une forte pile. On ne tarde pas à apercevoir une lumière brillante qui se porte d'un charbon à l'autre; et si, dès lors, on les écarte successivement, jusqu'à les mettre à une grande distance l'un de l'autre, le courant lumineux continue, en prenant un éclat et une

étendue qui font de cette expérience un des plus beaux spectacles que la physique puisse offrir à la curiosité.

Les phénomènes de chaleur et de lumière qui se développent dans les points où le courant de la pile est obligé de franchir un léger intervalle, ménagé entre deux conducteurs, sont extrêmement remarquables et fort différens de ce que présente l'électricité ordinaire. On voit se succéder avec rapidité une multitude d'étincelles, mais elles sont très-courtes; car ce que nous avons appelé la distance explosive est toujours extrêmement petite, ce qui est une suite naturelle de la faible tension des fluides : mais ces étincelles sont d'un éclat qui ne peut se comparer à aucune autre lumière artificielle. Ce qu'il y a de très-remarquable, c'est que cette vive lumière prend des couleurs diverses, suivant la nature des métaux qui se trouvent en rapport; ainsi des conducteurs en cuivre donnent une belle lumière verte. En effet, dans ces expériences, le métal, quel qu'il soit, fond et brûle toujours au point du passage de l'étincelle, de telle sorte qu'il est difficile de déterminer si la lumière produite appartient au fluide électrique ou à la combustion même du métal. Si l'on produit ainsi des étincelles à la surface du mercure, il bout et se volatilise avec une grande violence. Un fait non moins remarquable, c'est que, en employant, pour tirer ces étincelles, un conducteur de platine suffisant, son extrémité n'en est pas moins fondue en un globule incandescent; de sorte qu'il est démontré que la chaleur produite dans le point de contact de l'étincelle est infiniment supérieure à celle qui se développe dans les autres tranches de la continuité du conducteur.

Les effets de fusion peuvent présenter, avec des piles assez médiocres, une intensité qu'on a peine à se figurer. Avec une pile à la Wollaston de vingt-un couples seule-

ment, et dont la surface de zinc n'était que de trente-deux pieds carrés, M. Children a rougi à blanc un fil de platine de plus de cinq pieds de long et de plus d'une ligne de diamètre : il a fondu une tige de même métal, de deux lignes carrées sur deux pouces trois lignes de longueur.

Il résulte des expériences curieuses du même auteur que les différens métaux rougissent ou brûlent par l'action de la pile avec une facilité plus ou moins grande, et qui ne paraît nullement en rapport avec l'action ordinaire du calorique sur eux. Ces recherches ont été faites en faisant passer le courant galvanique par des fils formés, dans leur longueur, moitié par un métal et moitié par un autre, de manière à pouvoir comparer directement les effets d'un même courant sur deux métaux : il a trouvé ainsi, que le platine rougissait beaucoup plus facilement que l'or; que l'or brûlait avant l'argent; que l'or et le cuivre éprouvaient des effets analogues; que le fer coulait quand le cuivre était rouge-blanc; que le platine était rouge-blanc quand le zinc n'éprouvait rien; que le fer coulait avant le zinc; enfin, que le zinc brûlait quand l'argent restait intact : d'où il paraît résulter que l'argent et le zinc sont les métaux qui éprouvent le plus difficilement ces sortes d'effets de la pile.

Le docteur Robert Hare, avec un appareil très-considérable de couples roulés en hélice, paraît avoir obtenu des résultats encore plus extraordinaires : en faisant passer le courant, d'un morceau de plombagine à un autre, il a vu l'un des morceaux se creuser pendant que l'autre s'accroissait d'une couche d'apparence vitreuse qui avait toute la dureté et toutes les propriétés du diamant noir; ce qui supposerait la fusion du carbone lui-même, que l'on regarde comme le corps le plus réfractaire à l'action de la chaleur seule.

ACTION CHIMIQUE DE LA PILE.

346. Il paraît résulter de l'ensemble des faits actuellement connus, que toutes les particules des corps simples sont naturellement douées d'états électriques divers, qui constituent une de leurs propriétés essentielles et non moins inaltérables que toutes les autres. On croit même que la diversité de ces états électriques peut expliquer les combinaisons qu'on attribuait autrefois à l'affinité. Si ces propositions étaient vraies, les molécules des corps simples devraient posséder une tendance naturelle à s'approcher de l'un ou l'autre des deux pôles d'une pile, suivant que ces molécules seraient elles-mêmes électro-négatives ou électro-positives; et comme les deux pôles d'une pile peuvent acquérir des caractères électriques extrêmement prononcés, il s'ensuivrait que deux corps simples réunis devraient s'abandonner réciproquement pour se porter vers les deux pôles d'une forte pile.

Ce que nous venons d'indiquer comme propre à fortifier les deux propositions qui précèdent est précisément ce qui résulte d'expériences modernes qui ont exercé la plus grande influence sur la chimie, tant sous le rapport de la nouveauté des faits que sous celui de la théorie.

Nous allons exposer les principales actions de cet ordre, en indiquant les meilleurs moyens de les obtenir et l'explication qu'on en donne.

MM. Carlisle et Nicholson ont reconnu, pour la première fois, le 30 avril 1800, que l'action d'une pile quoique très-informe dégageait une odeur d'hydrogène; et en effet, en dirigeant le courant de la pile à travers un tube plein d'eau, on vit bientôt ce gaz s'accumuler, pendant que le

fil qui servait de conducteur au pôle positif de la pile s'oxidait rapidement.

Aujourd'hui l'expérience se répète d'une manière plus simple et plus démonstrative. On se sert d'un entonnoir tronqué; l'ouverture inférieure est fermée par un bouchon de liége enduit de mastic; on fait pénétrer de bas en haut à travers ce bouchon deux fils de platine jusqu'à ce que leur extrémité paraisse dans la capacité de l'entonnoir. On verse de l'eau dans cet entonnoir, et l'on renverse sur les extrémités des deux fils de platine deux cloches graduées, également remplies d'eau.

Tout étant ainsi disposé, si l'on fait communiquer les deux fils de platine avec les deux pôles d'une pile, on voit paraître à l'instant une quantité innombrable de petites bulles de gaz qui couvrent d'abord les fils, s'en détachent bientôt et s'élèvent par un courant ascendant vers le sommet des cloches. L'un des fils paraît produire beaucoup plus de gaz que l'autre; et, en effet, au bout d'un certain temps on trouve que l'une des cloches graduées contenant un volume de gaz, l'autre en contient exactement deux.

En examinant la nature de ces produits, on trouve que la cloche placée au dessus du fil qui représente le fil positif contient un volume d'oxigène pur, tandis que la cloche placée au dessus du fil qui représente le pôle négatif contient deux volumes d'hydrogène. Si l'on réunit ces deux gaz dans un eudiomètre et qu'on les enflamme par l'étincelle électrique, il se produit de l'eau sans aucun résidu gazeux.

Il reste donc démontré que l'action galvanique décompose l'eau ou ses deux élémens, qui se portent vers les deux pôles de la pile.

Si les fils dont on fait usage pour transmettre à l'eau l'action galvanique sont formés de métaux oxidables,

comme le cuivre ou le zinc, l'hydrogène continue à se dégager sous forme de gaz, au pôle négatif, mais le fil du pôle positif se combine avec l'oxigène produit et s'oxide rapidement.

Si l'on tente l'expérience que nous venons de décrire, avec de l'eau distillée, la décomposition marche avec une extrême lenteur, parce que ce liquide pur est un très-mauvais conducteur du courant galvanique; mais si l'on ajoute au liquide une petite quantité d'un sel soluble, ou mieux quelques gouttes d'acide, sa décomposition devient extrêmement rapide.

Aucun fait n'est certainement plus extraordinaire que celui dont nous venons de détailler les circonstances. Jusqu'à l'époque de sa découverte on n'avait jamais pu séparer deux élémens d'un corps composé, qu'en combinant au moins l'un des deux avec un troisième corps; et de plus les élémens séparés demeuraient à la place où ils avaient été isolés. Ici les deux fils de platine correspondent dans deux cloches différentes, en conséquence ils ne sont pas en rapport avec les mêmes molécules d'eau, et il semble que dans la cloche où l'on sépare de l'hydrogène, l'oxigène devrait être mis en liberté, et réciproquement pour l'autre cloche. Une masse d'eau continue fait communiquer les liquides des deux cloches; mais dans quel endroit se produit la décomposition de l'eau, et comment les gaz sont-ils transportés invisiblement de ce point vers les fils de platine? On a fait diverses tentatives pour éclaircir ces difficultés. Si l'on fait arriver les deux pôles de la pile dans deux vases séparés contenant de l'eau, et qu'on fasse communiquer les liquides des deux vases par un conducteur métallique, les produits apparaissent dans le même vase, l'un au fil de platine, l'autre à l'extrémité du conducteur de commu-

nication. Si cette communication est établie au moyen d'un conducteur humide, comme une mèche d'amiante, l'oxigène se produit dans un des vases et l'hydrogène dans l'autre.

Il est impossible d'admettre qu'une molécule d'eau aille d'un pôle à l'autre pour y laisser ses deux élémens, car d'une part, on ne peut apercevoir aucun mouvement dans le liquide soumis aux expériences, et d'une autre part, cette expérience réussit également bien avec un morceau de glace ou d'eau solide.

Voici l'explication que M. Grotthuss a donnée de ces singuliers phénomènes : on peut se représenter chaque molécule d'eau comme formée d'oxigène et d'hydrogène qui ne sauraient occuper le même lieu dans l'espace, mais dont les dispositions électriques opposées sont satisfaites par la combinaison, en sorte que ces molécules composées roulent confusément les unes sur les autres dans le liquide, ou sont agglomérées, sans direction particulière, par la cohésion dans le solide; cela posé, si l'on considère une file droite ou sinueuse de ces molécules se portant comme une chaîne, du pôle positif au pôle négatif, on concevra que la molécule composée n° 1, qui se trouvera la plus voisine du fil positif, tournera son côté oxigène qui est négatif vers le fil, pendant que son côté hydrogène fera également tourner de son côté la partie oxigène de la molécule n° 2, et ainsi de suite jusqu'à la dernière molécule qui touchera le fil négatif par son côté hydrogène. Dans cet état, si l'attraction du fil positif pour l'oxigène de la molécule n° 1, est assez forte pour séparer son oxigène de son hydrogène, celui-ci devenu libre s'emparera de l'oxigène de la molécule n° 2, dont l'hydrogène devenu libre agira de même sur l'oxigène de la molécule n° 3, et ainsi jusqu'au fil négatif, où la molécule hydrogène se dégagera sous forme de gaz.

Cette ingénieuse explication rend parfaitement compte des décompositions à distance, et du transport des élémens dans le liquide, et elle s'applique, sans plus de difficultés, aux corps solides, puisque nous sommes forcés d'admettre que les molécules de ces derniers sont réellement placées à des distances réciproques, considérables, relativement à leur volume, ce qui comporte la faculté de se tourner dans divers sens, ainsi que notre théorie l'exige.

Ce que nous venons de dire d'une seule file de molécules, peut s'appliquer à toutes les files qui font communiquer chaque point de la surface d'un conducteur avec chaque point de la surface d'un autre.

On conçoit que si l'oxigène et l'hydrogène, qui ont une si grande affinité l'un pour l'autre, sont ainsi séparés par l'action de la pile, elle devra à plus forte raison décomposer les oxides facilement réductibles, et en effet, si l'on dépose une petite partie d'oxide d'argent sur une lame de platine communiquant avec le pôle positif d'une pile, et si l'on approche le fil négatif de l'oxide, on verra bientôt se produire un globule d'argent métallique au contact de ce fil.

Si les oxides sont moins facilement réductibles, il faudra les humecter, ce qui favorise la conductibilité.

Le célèbre appareil de Volta n'aurait rendu que de faibles services à la science chimique, si son action s'était réduite à analyser ainsi spontanément des composés déjà connus; mais H. Davy, en essayant dès 1807 l'action d'une très-forte pile sur toutes les substances qui pouvaient présenter quelque intérêt, réussit fort inopinément à décomposer les alcalis fixes, qui jusque là étaient considérés comme des corps simples. On a depuis trouvé que toutes les prétendues terres avaient également des bases métalliques.

Lorsqu'on soumet un morceau de potasse à l'alcool

(hydrate de potasse), en l'humectant un peu, à l'action des deux pôles opposés d'une forte pile, on ne tarde pas à apercevoir autour du fil négatif de petits globules brillans, qui brûlent avec beaucoup d'éclat dans l'air et même dans l'eau; mais on conçoit que la grande avidité du potassium pour l'oxigène était un obstacle à l'obtenir et à l'accumuler en quantité notable. C'est M. Seebeck qui en a fourni le moyen : il consiste à creuser d'un trou le fragment de potasse et à remplir cette cavité de mercure; la potasse communiquant avec le fil positif, et le fil négatif plongeant dans le mercure, le potassium séparé, s'amalgame peu à peu avec le métal liquide qui l'enveloppe et le protége contre l'action de l'air, en sorte qu'il suffit de chauffer l'amalgame pour volatiliser le mercure et obtenir le potassium pur.

Les acides sont décomposés comme les oxides par l'action de la pile; pour les oxacides, on conçoit que l'oxigène se porte toujours au pôle positif, et pour l'acide hydrochlorique, c'est le chlore qui prend ce caractère.

Les sels sont en général décomposés par la pile. Leur acide partageant le caractère électrique de l'oxigène, se porte au pôle positif, et leur base au pôle négatif; mais il peut arriver qu'une pile énergique décompose simultanément le sel, son acide et sa base. Au reste les phénomènes produits sont très-variables, et dépendent de la rapidité du courant galvanique et des caractères électriques, plus ou moins prononcés, des élémens divers du sel.

Il est très-facile de rendre sensibles ces sortes de décompositions; il suffit de placer dans un syphon de verre une faible solution de sel marin, par exemple, et de la colorer avec le sirop de violette ou la teinture de chou rouge, les deux fils de la pile la plus faible, étant plongés dans les deux branches de ce syphon, le liquide devien-

dra rouge du côté positif, et vert du côté négatif; en changeant les pôles de branches, la couleur bleue se rétablira d'abord, et les couleurs rouge et verte se reproduiront bientôt en sens inverse.

L'ammoniaque est depuis long-temps considérée par les chimistes comme un alcali fort analogue dans ses propriétés à la potasse et à la soude, s'en distinguant seulement par son état habituel de fluide aériforme. Il était donc naturel, après avoir découvert le potassium et le sodium, de rechercher par les mêmes voies l'ammonium, ou un métal formant la base de l'ammoniaque.

Les recherches, tentées d'abord par M. Seebeck et répétées ensuite par plusieurs chimistes, n'ont point conduit à ce but, mais ont fait découvrir d'autres circonstances curieuses.

Si l'on place dans une petite capsule d'hydrochlorate d'ammoniaque un globule de mercure, la capsule étant en communication avec le pôle positif et le mercure avec le pôle négatif, on voit ce métal se gonfler à vue d'œil et prendre cinq ou six fois son volume primitif. Si l'on interrompt le courant, tout disparaît peu à peu, et le mercure reprend son état primitif. On a, du reste, constaté que ce nouveau genre d'amalgame était un composé de mercure, d'hydrogène et d'ammoniaque en proportions fixes, susceptible de cristalliser à 0° température, et qui peut être obtenu directement par d'autres voies que l'action de la pile.

MOUVEMENS DÉTERMINÉS PAR L'ACTION DE LA PILE.

347. S'il est possible de se rendre compte des actions moléculaires ou chimiques, par les caractères électriques de la pile et des molécules composantes des corps qui sont

soumis à son action, il n'est pas aussi facile de se rendre compte de certaines actions mécaniques, que les courans de la pile exercent sur des masses de manière à les déplacer et à les agiter avec plus ou moins de violence; aussi nous nous bornerons à exposer quelques uns de ces curieux phénomènes, sans essayer d'en fournir l'explication, qui nous paraît jusqu'ici au-dessus de la portée de nos théories.

Si l'on partage la capacité d'une capsule de verre par une cloison membraneuse de vessie ou de baudruche, si l'on remplit à moitié la capsule d'un liquide conducteur, et que l'on fasse communiquer un côté avec le pôle positif d'une pile et l'autre avec le pôle négatif, on observe que, pendant l'action du courant, le liquide passe à travers la membrane, en sorte que son niveau s'élève du côté négatif, en s'abaissant du côté positif. Le phénomène devient encore plus sensible au moyen d'un tube de verre fermé par un bout d'une peau de vessie; ce tube étant plongé dans un vase rempli d'un liquide conducteur, et contenant lui-même du liquide au même niveau que le vase; si l'on plonge le fil positif de la pile dans le liquide extérieur et le fil négatif dans l'intérieur du tube, on verra bientôt le liquide s'élever dans le tube, contre l'action de la pesanteur, et à plusieurs pouces au-dessus du niveau extérieur.

Si l'on place dans une capsule de verre large et peu profonde, une certaine quantité de mercure et qu'on le recouvre d'une couche d'acide sulfurique concentré, en plongeant les fils de platine des deux pôles d'une pile ordinaire dans l'acide sulfurique, le mercure se livre aussitôt à une violente agitation, et l'acide qui le recouvre paraît lui-même entraîné par de rapides courans dans sa surface de contact avec le métal. Si les deux fils sont opposés l'un à l'autre suivant un des diamètres de la masse

du mercure, elle s'allonge en tournoyant vers le pôle négatif. Si les deux fils présentent un angle droit, la masse de mercure tourne rapidement en s'approchant du pôle négatif; si l'un des fils est placé au-dessus du mercure, celui-ci se soulève et s'amoncèle ou se déprime et se ride comme sous l'influence d'un souffle violent. Tous les acides concentrés et les dissolutions salines produisent des phénomènes analogues; mais une solution alcaline laisse le mercure dans le repos le plus absolu, pourvu que ce métal soit très-pur ou qu'il ne contienne que des métaux électro-négatifs comme l'or et l'argent, tandis que des atômes d'un métal électro-positif, comme le potassium et le zinc, suffisent pour rendre à la masse mercurielle sa mobilité, en sorte que, par exemple, sous une solution de potasse, en touchant un instant le mercure avec le pôle négatif, il se produit assez de potassium pour communiquer à toute la masse de mercure la propriété de se mouvoir sous l'influence du courant.

CARACTÈRES ÉLECTRIQUES DES ATÔMES.

348. En considérant la série de phénomènes dont nous venons de rendre compte, on ne peut pas douter de la vérité des deux premières suppositions que nous avons faites, savoir, que les atômes des corps ont des propriétés électriques différentes et constantes pour chacun d'eux, et, de plus, que les pôles de la pile exercent une puissante attraction sur les atômes qui jouissent d'un caractère électrique contraire à celui de ses pôles; mais il s'en faut de beaucoup que ces deux simples propositions suffisent pour rendre compte des phénomènes.

Nous remarquerons d'abord, que le caractère électrique des atômes d'un corps n'est pas une propriété absolue.

mais une propriété relative. L'oxigène seul se porte constamment vers le pôle négatif de la pile, dans quelque combinaison qu'il se trouve engagé, tandis que les autres corps simples peuvent se porter tantôt vers un pôle et tantôt vers l'autre, suivant l'espèce de substance avec laquelle ils se trouvent actuellement unis ; c'est ainsi que le chlore se porte au pôle négatif de la pile quand il est en combinaison avec l'oxigène, et au pôle positif quand il est en combinaison avec l'hydrogène.

Si l'on veut, suivant les idées modernes, expliquer les combinaisons chimiques par la nature opposée des états électriques des corps qui se combinent, on rencontre une objection importante : en effet, admettant que l'oxigène et l'hydrogène, par exemple, s'attirent en vertu de deux états électriques contraires pour s'unir et former de l'eau, il devra résulter de la combinaison une saturation réciproque des deux électricités, et l'on ne saura plus quelle est la force qui maintient les molécules réunies après la combinaison.

Une supposition fort ingénieuse de M. Ampère est venue résoudre cette difficulté. Ce physicien admet que les particules des corps sont douées d'une électricité inhérente à leur nature et insusceptible de les abandonner pour se combiner avec le fluide contraire, mais bien capable d'exercer son influence sur le fluide naturel qui environne la molécule, et de former ainsi autour d'elle une atmosphère du fluide opposé; par exemple, il admet que l'oxigène est essentiellement électro-positif, mais que ses molécules sont entourées d'une atmosphère électro-négative. Il conçoit que cette atmosphère est la cause de son attraction pour l'hydrogène, par exemple, dont les particules négatives sont entourées d'une atmosphère positive. Ce sont ainsi les atmosphères réciproques qui déterminent

le rapprochement et les électricités essentielles qui maintiennent la combinaison.

Cette manière de voir satisfait à un grand nombre de phénomènes remarquables; il arrive en effet, lorsque deux corps se combinent, plusieurs cas différens; la combinaison peut perdre presque tout caractère électrique, en d'autres termes, ne présenter aucune tendance à une combinaison nouvelle avec d'autres corps, on la regarde alors comme neutre; ou bien la combinaison peut former un acide très-apte à de nouvelles combinaisons et conservant une grande tendance à se porter au pôle positif de la pile; ou bien enfin le produit de la réunion des molécules peut constituer une base salifiable, qui tendra à se combiner avec les acides et à se diriger vers le pôle négatif. Toutes ces circonstances se conçoivent aisément en admettant les atmosphères; si elles sont égales, elles se saturent et produisent la neutralité; si l'atmosphère négative l'emporte sur la positive, il y aura autour de la molécule composée, pour résidu, une atmosphère de caractère négatif qui constituera l'acide, et dans le cas contraire une atmosphère de fluide positif qui constituera la base salifiable.

RAPPORTS DU GALVANISME AVEC LES ÊTRES VIVANS.

349. L'électricité, mise en mouvement par les appareils galvaniques, exerce sur les animaux une influence d'autant plus prononcée qu'elle traverse leurs organes avec continuité. Aussi emploie-t-on de préférence ce mode d'électrisation dans tous les cas de paralysie sans altération organique, et dans toutes les affections atoniques. Il faut pourtant convenir que, jusqu'ici, on ne peut rien établir de positif sur le succès qu'on doit en attendre, ce qui tient sans doute à ce que, la plupart du temps, on a

appliqué ce moyen sans discernement à des maladies qui reconnaissaient une cause absolue contre laquelle cet agent devait être impuissant.

L'application de l'influence galvanique aux organes des animaux récemment morts, a donné lieu à une foule de phénomènes intéressans. Indépendamment des muscles des animaux qui, comme ceux de la grenouille, se contractent fortement lorsqu'on les comprend dans un circuit galvanique, ou seulement lorsqu'on les touche avec le fil d'un des pôles de la pile, les cadavres humains eux-mêmes ont été soumis à de semblables épreuves. On a vu, en Angleterre, un homme mort depuis trois quarts d'heure exécuter des mouvemens respiratoires, et mouvoir ses membres de manière à donner l'espérance de le rappeler à la vie, si la grande quantité de sang qu'il avait perdue ne se fût opposée à cet heureux succès.

Il résulte du moins, de la puissante influence du fluide galvanique, qu'il offre le meilleur moyen de rétablir la circulation, la respiration chez les individus asphyxiés. Il est, sous ce point de vue, très-désirable que l'autorité joigne une pile galvanique aux moyens qu'elle réunit dans des lieux spéciaux pour rappeler à la vie les noyés ou les asphyxiés.

Lorsqu'on se propose de déterminer des contractions dans tel muscle de l'économie animale, il faut mettre en communication avec les deux pôles opposés d'une pile, d'une part, l'origine des nerfs qui se rendent à ces muscles, et d'autre part le corps des muscles eux-mêmes. Pour y parvenir avec quelque espoir de succès, il faut appliquer, dans les points de la peau les plus voisins de l'origine des nerfs, des plaques métalliques flexibles et mouillées d'une dissolution saline. On peut quelquefois profiter de la plaie d'un vésicatoire ou même pratiquer

des incisions dans lesquelles on introduit des lames métalliques. Il est bon de remarquer encore que le simple courant est beaucoup moins actif que la commotion, en sorte qu'il faut interrompre alternativement les communications avec la pile, ou bien, laissant un des fils attaché à l'une des extrémités, saisir l'autre et le faire glisser successivement sur le bord des élémens de cette pile d'une extrémité à l'autre, car il en résulte une succession de chocs qui excitent très-puissamment les contractions.

Un grand nombre de faits semblent établir, dans l'état actuel des connaissances, une grande analogie entre la cause qui détermine les influences nerveuses et le fluide galvanique. Ces analogies peuvent être distinguées en celles qui regardent la structure et celles qui regardent les effets.

Quant à la structure, les centres nerveux présentent toujours deux lames de substances, l'une grise, et l'autre blanche, qui, dans le cerveau, sont repliées ensemble sur elles-mêmes, de façon qu'étant déployées elles présenteraient une grande étendue; tandis que, dans le cervelet, on rencontre un grand nombre de lames distinctes, superposées et réunies entre elles par des espèces de conducteurs, comme les deux élémens d'une pile. On remarque encore que les nerfs sont formés de filets non interompus, depuis le cerveau ou la moelle épinière, jusqu'au lieu de leur destination, et que ces filets sont généralement enveloppés d'une matière grasse, très-propre à les isoler complétement entre eux et des parties voisines; ce qui leur donne beaucoup de ressemblance avec ces fils métalliques recouverts de soie dont on fait si souvent usage pour conduire sans déperdition l'électricité d'un lieu dans un autre.

Quant aux effets, nous nous contenterons d'exposer

une série de faits bien observés et parfaitement constatés.

Si l'on coupe les nerfs qui se rendent à l'estomac, et qu'on mette les extrémités en contact ou voisines l'une de l'autre, la digestion continue; si l'on écarte ou qu'on renverse les extrémités nerveuses, la digestion cesse; si, après avoir enlevé une partie de la longueur du nerf, on fait communiquer les deux extrémités par une lame métallique, la digestion continue; enfin, si l'on fait communiquer la branche nerveuse qui se dirige vers l'estomac avec un des pôles d'une pile, et la région de l'estomac avec l'autre pôle, la digestion s'exécute sous l'influence galvanique, à peu près de la même manière que sous l'influence nerveuse.

On trouve encore, dans la nature des humeurs sécrétées par les organes de l'économie animale, une singulière analogie avec les phénomènes de séparation que le fluide galvanique opère dans les corps composés. Ainsi ces humeurs sont toutes alcalines ou acides; celles qui sont destinées à être rejetées au dehors, comme la transpiration et l'urine, sont acides, et celles qui, comme la bile, doivent rester dans l'économie pour y concourir à quelques fonctions, sont alcalines.

Pour concevoir comment les sécrétions peuvent s'opérer dans l'intérieur des organes, on a fait l'expérience suivante : si l'on prend un petit tube de verre, qu'on le ferme par un bout avec une membrane mince, qu'on le remplisse d'une dissolution de sel marin, et qu'on le pose sur une plaque métallique, en faisant communiquer cette plaque et le liquide du tube avec un élément galvanique, il se développe de l'alcali dans l'intérieur du tube, et l'on trouve sur la plaque métallique une liqueur acide. Ainsi la séparation s'est opérée à travers la membrane, qui

n'aurait pas laissé transsuder la liqueur saline non décomposée.

Si ces analogies sont loin d'être suffisantes pour autoriser à conclure que le fluide nerveux est identique avec le fluide galvanique, elles sont du moins de nature à mériter toute l'attention des physiciens et des physiologistes, d'autant plus que nous verrons, en parlant des phénomènes électro-dynamiques, que d'autres analogies se présentent encore dans le fait même de la contraction musculaire.

CHAPITRE III.

DU MAGNETISME.

350. On connaît, depuis la plus haute antiquité, certaines propriétés que l'on croyait appartenir exclusivement au fer ou à ses mines, que l'on a retrouvées depuis, à un moindre degré, dans le cobalt et le nickel, et auxquelles on a donné le nom de *propriétés magnétiques*, en les attribuant à l'existence de deux fluides particuliers. On a aussi nommé *aimans* les corps doués de ces propriétés magnétiques, en les distinguant en *aimans naturels* et *aimans artificiels*.

351. *Aimans naturels.* Certaines mines de fer oxidulé présentent des masses qui ont la propriété d'attirer le fer avec plus ou moins de force. Lorsque ces masses sont suspendues par un fil, elles se dirigent de manière que l'une de leurs extrémités correspond à peu près au pôle sud, et l'autre au pôle nord de la terre. Les parties de la

pierre qui se dirigent ainsi vers les pôles de la terre ont reçu elles-mêmes le nom de *pôles* de l'aimant. Lorsqu'on présente l'un à l'autre deux aimans suspendus, les pôles semblables se repoussent, et les pôles différens s'attirent.

On peut admettre que les deux extrémités d'un aimant sont animées par deux fluides opposés, en sorte que les fluides semblables se repoussent, et que les fluides différens s'attirent. Dans ce cas, il faudra supposer qu'il existe un rapport semblable entre les pôles de la terre vers lesquels l'aimant se dirige; de telle sorte que la partie de l'aimant qui se dirige vers le pôle nord de la terre a les propriétés du fluide contraire, c'est-à-dire du fluide austral, tandis que l'extrémité de l'aimant qui se dirige vers le pôle sud de la terre doit avoir les propriétés du fluide boréal.

On est dans l'habitude de nommer les pôles de l'aimant comme les pôles de la terre vers lesquels ils se dirigent, et l'on voit que ce langage est contraire à la théorie; mais pour le changer sans confusion, nous appellerons *pôle austral* de l'aimant celui qui est marqué N et qui se dirige vers le pôle nord de la terre, et *pôle boréal* de l'aimant celui qui est marqué S, et qui se dirige vers le pôle sud de la terre.

On peut accroître considérablement la force attractive des aimans naturels, en les enveloppant de lames de fer ou d'acier pour leur former ce qu'on nomme une *armature*. Il existe de ces aimans naturels dont la force attractive équivaut à un grand nombre de kilogrammes.

352. *Aimans artificiels.* On peut communiquer à une tige, à une lame ou à une aiguille en fer ou en acier, toutes les propriétés d'un aimant naturel, par différens moyens que nous indiquerons plus tard. Si l'on prend une aiguille ainsi préparée, et que l'on dispose vers son

centre de gravité une petite chape conique, de manière à la poser et à la rendre très-mobile sur une petite pointe de cuivre, on verra cette aiguille présenter les phénomènes décrits; mais on pourra les observer avec beaucoup plus d'exactitude. Cette aiguille se dirigera spontanément à peu près vers les pôles de la terre, après avoir oscillé pendant un certain temps, si elle a été placée auparavant dans une autre direction; nous disons à peu près vers les pôles, car à Paris, et dans ce moment, l'aiguille se dirige à 22° 19′ du pôle nord du côté de l'ouest. On nomme *déclinaison* de l'aiguille aimantée cette obliquité variable suivant les temps et suivant les lieux. On peut supposer un grand cercle de la terre passant par la direction de l'aiguille pour un lieu quelconque, et l'on donne à ce grand cercle le nom de *méridien magnétique* du lieu. On peut concevoir aussi un autre grand cercle perpendiculaire à celui-ci, qui s'éloignerait de l'équateur d'environ 10° ou 12°, et auquel on peut donner le nom d'*équateur magnétique*.

Il est évident qu'une aiguille ainsi dirigée peut donner à tout moment des indications approximatives sur une route quelconque que l'on se propose de suivre, soit sur terre, soit sur mer, puisqu'en marchant dans le sens de la longueur de l'aiguille, on se dirige à peu près d'un pôle à l'autre, et qu'en marchant perpendiculairement à cette aiguille, on se dirige à peu près parallèlement à l'équateur. C'est ainsi que les propriétés de l'aimant ont fourni la *boussole*, sans laquelle les grands voyages sur mer auraient été à jamais impossibles.

Indépendamment de la déclinaison de l'aiguille aimantée, on observe que, quand elle est suspendue par un fil, une de ses extrémités est presque toujours plus basse que l'autre, et ce défaut d'horizontalité porte le nom d'*inclinai-*

son de l'aiguille. Elle dépend de l'attraction des pôles magnétiques de la terre pour les pôles de l'aiguille, en sorte qu'elle est nulle dans l'équateur magnétique, où les deux pôles agissent également; que le pôle austral de l'aiguille, marqué N, est abaissé dans l'hémisphère nord, tandis que son pôle boréal, marqué S, est abaissé à son tour dans l'hémisphère sud. Ces inclinaisons augmentent à mesure qu'on s'approche des pôles. Ainsi à Paris elle est de 68° 30′.

Un barreau aimanté avec une certaine force produit des effets assez remarquables sur les corps qu'il attire; non-seulement il entraîne avec lui une aiguille d'acier ou des parcelles de limaille de fer avec lesquelles on l'a mis en contact; mais encore il les attire à distance, et malgré l'interposition de quelque corps que ce soit, pourvu que l'épaisseur ne soit pas trop grande. Si l'on place un barreau aimanté sous une feuille de papier, et qu'on la saupoudre ensuite de limaille de fer, en imprimant de légères secousses au papier, les parcelles de fer s'arrangent en formant des courbes concentriques incomplètes, qui partent de chaque extrémité pour se porter vers l'autre. Il ne s'arrête presque point de parcelles de fer au milieu de l'aimant. On a cru voir autrefois dans cette expérience une preuve que des courans de fluide magnétique contraire s'échappaient par les deux pôles et tendaient à se rejoindre dans l'espace.

On observe encore qu'une aiguille de fer ou d'acier, qui est actuellement en contact avec un barreau aimanté, jouit par cela seul de la propriété d'en attirer une autre.

Coulomb a déterminé l'intensité de la force magnétique en comptant les oscillations d'une aiguille aimantée, libre ou sollicitée par un aimant placé à des distances variées, en se servant de la loi générale, que l'intensité de ces sortes de forces est comme les carrés des nombres d'os-

cillations, et il a trouvé que l'attraction magnétique s'exerçait en raison inverse du carré des distances. Il a reconnu aussi, à l'aide de sa balance, que le maximum d'intensité d'action d'un aimant n'était pas précisément à son extrémité, mais dans un point très-voisin. Enfin il a démontré que l'intensité était la même pour les deux pôles opposés.

Il est souvent très-important, dans les recherches expérimentales, de détruire dans une aiguille toute influence de l'action de la terre, afin de la rendre sensible aux plus légères impressions étrangères. On y parvient de deux manières : on peut, comme dans l'appareil de M. Ampère, monter l'aiguille sur un axe fixé par les deux extrémités, et faire en sorte que le cercle qu'une semblable aiguille peut décrire soit perpendiculaire à la direction de l'aiguille libre. Dès lors toutes les forces qui tendent à mouvoir l'aiguille libre se perdent par la résistance du pivot, et l'aiguille ainsi enchaînée peut, quoique aimantée, rester dans toutes les positions où on la met, et par conséquent prendre toutes celles qui peuvent être déterminées par des influences accidentelles.

Le second moyen, moins exact, est beaucoup plus simple. Il consiste à placer sous l'aiguille aimantée, et perpendiculairement à sa direction, un aimant assez fort pour compenser l'action du globe; l'aiguille ne deviendra pas absolument indifférente à toute situation, mais du moins extrêmement mobile.

On peut communiquer la propriété magnétique au fer et à l'acier, par un grand nombre de moyens différens, en observant que le fer la contracte très-vite et la perd aisément, et que l'acier, qui la contracte beaucoup plus difficilement, la conserve aussi beaucoup plus long-temps.

On peut faire un aimant artificiel, 1° en plaçant un

barreau d'acier dans la direction où se tient actuellement l'aiguille aimantée, et l'y laissant pendant un certain temps. C'est par cette raison que presque tous les ustensiles de fer ou d'acier dont nous faisons usage finissent par devenir magnétiques, et c'est sans doute par la même cause que les mines de fer contiennent si souvent des aimans naturels. 2°. En frottant une tige d'acier d'une de ses extrémités à l'autre, avec un des pôles d'un aimant. 3°. En réunissant par leurs pôles opposés les deux extrémités de deux barreaux aimantés, et frottant le barreau d'acier, de son centre vers ses extrémités, avec les deux autres extrémités des barreaux. 4°. Enfin en rendant le barreau d'acier conducteur d'un certain nombre de décharges électriques; et c'est pour cette raison que la foudre tombant sur un vaisseau, a pu quelquefois changer les pôles de l'aiguille d'une boussole, et tromper ainsi les navigateurs sur leur route. Les procédés que nous venons de décrire ont précédé la connaissance de la nouvelle théorie de l'aimant, et nous verrons bientôt qu'elle en a fourni de beaucoup plus sûrs et de beaucoup plus parfaits.

Nous ne donnons ici aucune explication des phénomènes magnétiques, attendu que nous les considérons comme faisant partie des phénomènes électro-dynamiques, dont nous traiterons bientôt.

353. *Magnétisme terrestre.* — De quelque manière que l'on considère et que l'on explique les phénomènes de l'aiguille aimantée, il est incontestable que la terre en général joue, par rapport à une aiguille aimantée, le rôle d'un aimant qui, comme elle, aurait ses deux pôles opposés. On voit, en effet, que le pôle de l'aiguille qui se dirige vers le nord est précisément celui qui, comme nous le démontrerons, est semblable au pôle austral de la terre, et réciproquement; en sorte que ce sont les pôles diffé-

rens qui s'attirent, comme cela arrive entre deux aimans. Et l'on remarque, en outre, que les effets de ces pôles varient à mesure qu'on s'approche ou qu'on s'éloigne de l'un ou de l'autre, ainsi que nous l'avons dit précédemment. Cet état de la terre est fort intéressant à considérer dans ce qu'il a de fixe et dans les variations qu'il présente.

Nous avons dit qu'il existait des pôles magnétiques qui ne correspondaient pas exactement avec les pôles de la terre. D'un autre côté, nous avons dit qu'il existait un équateur magnétique, qui formait avec l'équateur de la terre un angle de 10° à 12°. Mais il faut remarquer que l'existence de cet équateur magnétique n'est bien constatée que dans une moitié de la circonférence de la terre, et qu'il paraît exister dans l'autre des causes accidentelles de perturbation, qui font que les déclinaisons de l'aiguille ne sont pas égales dans des lieux également distans de la ligne que représenterait l'équateur magnétique régulier.

Il est démontré que l'état magnétique du globe n'a rien de bien constant, puisque les déclinaisons et les inclinaisons de l'aiguille aimantée varient presque continuellement pour un même lieu de la terre. Par exemple, la déclinaison de l'aiguille à Paris était orientale et de 11° 30′ en 1580; cette déclinaison a diminué jusqu'en 1663, où elle était zéro, et où, par conséquent, l'aiguille se dirigeait exactement vers le pôle. Elle est demeurée stationnaire pendant deux ans; elle s'est ensuite portée à l'ouest, de manière qu'en 1678 elle était, dans ce sens, de 1° 30′. En 1813, elle était de 22° 28′. En 1815 elle n'était plus que de 22° 19′, et elle est restée à ce point jusqu'à ce jour.

On voit aussi que l'inclinaison diminue lentement chaque année : elle était à Paris de 69° 51′ en 1798; elle était de 68° 50′ en 1810, et de 68° 30′ seulement en 1817.

Indépendamment de ces variations lentes, on a remarqué des variations diurnes, qui ne sont pas exactement les mêmes dans tout le cours de l'année ni dans tous les lieux de la terre. L'aiguille marche vers l'ouest depuis le lever du soleil jusqu'à une heure, et rétrograde ensuite vers l'est. Le maximum de ce mouvement à Paris est dans le mois de juin, et s'élève à 14′. Son minimum est dans le mois de décembre et n'est que de 9′. Ce genre de déplacement est, au reste, plus considérable dans les deux sens à Londres qu'à Paris. On peut, jusqu'à un certain point, se rendre compte des variations diurnes en considérant la masse du globe comme une espèce de pile voltaïque, et tenant compte des variations de température qui dépendent de l'action du soleil.

Un certain nombre de causes accidentelles déterminent de grandes agitations dans l'aiguille; tels sont les tremblements de terre, les aurores boréales.

Nous devons encore ajouter, pour confirmer l'opinion de l'existence des pôles magnétiques du globe, que l'intensité de la force directrice des aimans, que M. Gay-Lussac n'a pas trouvée diminuée à 7000 mètres de hauteur dans l'atmosphère, s'accroît rapidement lorsqu'on s'approche des pôles; en sorte que si on la représente par 100 à l'équateur, elle sera 127 à Naples, 134 à Paris et 137 à Berlin.

CHAPITRE IV.

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-DYNAMIQUES.

354. La physique s'est enrichie, dans ces derniers temps, d'une branche entièrement nouvelle qui s'occupe des

actions mutuelles que peuvent exercer les uns sur les autres des corps conducteurs dans lesquels il n'y a actuellement aucune tension électrique sensible, mais qui sont le siége d'un *courant galvanique*. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que les premiers phénomènes de ces influences ont été reconnus par M. Œrstedt entre un conducteur voltaïque et une aiguille aimantée, et cela à une époque où on était loin de soupçonner l'analogie qui peut exister entre l'état magnétique d'un corps et son état électrique. On voit que l'ordre chronologique des découvertes est fort loin de l'ordre méthodique qu'on peut maintenant leur donner. Nous croyons convenable d'adopter le dernier en exposant d'abord les faits les plus généraux et les lois qui en résultent, pour en donner ensuite quelques applications.

Lorsque l'on fait communiquer par un fil métallique les deux extrémités d'une pile voltaïque, il s'établit dans ce fil un courant électrique que l'on considère toujours comme se portant du pôle positif de la pile à son pôle négatif. C'est ainsi que nous entendrons toujours la *direction* des courans; et quand nous dirons la *droite* ou la *gauche* d'un courant, nous entendrons la droite ou la gauche d'un homme qui serait placé à l'origine du courant et qui regarderait sa longueur.

Si l'on suppose que, par un moyen quelconque, des fils métalliques dans lesquels sont établis de semblables courans puissent en même temps jouir d'une grande mobilité, on observera, en général, entre ces fils métalliques, des attractions et des répulsions très-puissantes et qui sont évidemment d'un autre ordre que les attractions et les répulsions électriques que nous connaissons, puisque les conducteurs supposés ne présentent aucune espèce de tension électrique et n'affectent pas l'électroscope le plus

sensible. Non-seulement les fils conducteurs s'attirent ou se repoussent réciproquement, mais encore ils attirent la limaille de fer et ils exercent sur l'aiguille aimantée des influences très-prononcées qui en changent la direction. Enfin, ces mêmes conducteurs, lorsqu'ils ont la faculté de se mouvoir autour d'un point, prennent des directions fixes relativement aux pôles de la terre.

On est parvenu à donner différens genres de mobilité à des conducteurs qui sont le siége de courans galvaniques, en les suspendant par des pointes métalliques supportées par des petites coupes que l'on remplit de mercure, à l'aide duquel les courans galvaniques se transmettent.

Dans un aussi grand nombre de phénomènes divers dont les causes étaient encore inconnues, il était important, mais très-difficile, de découvrir le fait général qui pouvait en rendre compte, et fournir en même temps les moyens d'en prévoir de nouveaux : c'est ce qu'a fait M. Ampère, dont nous allons exposer la théorie.

Tous les points d'un courant continu existant dans un fil rectiligne sont dans un état de répulsion.

Si l'on suppose que le fil qui est le siége d'un courant rectiligne se fléchisse dans son milieu de manière que ses deux parties forment un angle; si, par exemple, le courant marche dans la ligne AB (*fig.* 130) et qu'on la fléchisse au point C, le courant se portera d'abord de A en C, puis ensuite de C en B′, c'est-à-dire, que la première portion se portera vers le sommet de l'angle, tandis que la seconde s'écartera de ce sommet; et alors les deux portions de conducteurs C A et C B′ se repousseront. Cette répulsion aura lieu au contact comme à distance; elle sera réciproque.

La puissance qui agit pour éloigner deux portions de courans l'une de l'autre, a toujours pour direction la

ligne qui joint ces deux portions. Ainsi, le point B′ est repoussé par le point A, suivant la ligne AB′.

Lorsque deux portions de courans ne se coupent pas et ne sont point parallèles, le même effet de répulsion a lieu, tant que les fils vont en se rapprochant de la plus courte distance qui peut se trouver entre elles.

Lorsque deux courans sont parallèles, c'est-à-dire que l'angle B′CA est réduit à zéro, la même répulsion subsiste.

Lorsqu'on change la direction du courant dans l'une des deux portions, la répulsion se change en une attraction parfaitement égale.

On peut réduire ces différentes propositions, qui sont toutes démontrées par l'expérience, en cette proposition générale :

Il y a répulsion entre deux portions de courans dont l'un s'approche et l'autre s'éloigne du sommet de l'angle qu'elles forment, ou de la plus petite distance qu'il y ait entre elles, tandis qu'il y a attraction entre deux portions de courans qui s'approchent ou s'éloignent tous deux de ce sommet ou de cette plus petite distance.

On conclut de cette proposition que deux courans parallèles en sens opposés se repoussent, tandis que deux courans parallèles dans le même sens s'attirent, car on peut toujours supposer que deux lignes parallèles se réunissent à une distance infinie.

On démontre par l'expérience, que si l'on présente à un courant rectiligne un autre courant sinueux, l'intensité de son action sera exactement la même que celle d'un courant rectiligne qui irait d'une de ses extrémités à l'autre.

Les propositions que nous venons d'établir tendent à expliquer tous les phénomènes d'attaction et de répulsion

réciproques, et même certain mouvement de rotation continu, que l'on observe dans les conducteurs galvaniques. Nous en citerons quelques exemples.

Si l'on a (*fig.* 131) un conducteur indéfini AB, dans lequel le courant marche de A en B, qu'on présente perpendiculairement à sa longueur un conducteur mobile *ab*, dans lequel l'électricité marche de *a* en *b*, la portion AC du grand conducteur attirera le conducteur *ab*, tandis que la portion CB le repoussera; par conséquent le conducteur *ab* tournera autour du point *b*, pour venir s'appliquer sur AC.

Si l'on a (*fig.* 132) un conducteur indéfini AB dans lequel le courant marche de A en B, et qu'on présente perpendiculairement à son milieu un conducteur mobile *ab*, dans lequel l'électricité marche de *b* en *a*, la portion AC du grand conducteur repoussera le conducteur *ab*, tandis que la portion CB l'attirera. En conséquence le conducteur *ab* viendra s'appliquer sur la portion CB du grand.

Si l'on place au-dessus d'un courant AB (*fig.* 133), marchant de A en B, un conducteur *ab*, mobile sur son milieu, et dans lequel le courant marche de *a* en *b*, il se placera toujours dans une direction perpendiculaire à AB; car on voit, par l'inspection de la figure, que c'est la seule position où les attractions et les répulsions puissent se faire équilibre, tandis que ce conducteur *ab*, mobile sur son milieu, s'il était placé à côté du courant AB, se placerait, pour les mêmes raisons, dans une direction parallèle.

Si dans le voisinage d'un courant indéfini AB (*fig.* 134), marchant de A en B, on place un conducteur *ab*, mobile autour du point *b*, dans lequel le courant marche de *a* en *b*, et assez éloigné du conducteur AB pour décrire librement une circonférence, ce conducteur se mettra en

effet en mouvement et tournera toujours dans le même sens autour du point *b*. En effet, dans la position *ab*, le courant qui suit cette ligne est attiré par le courant de la portion AC, et repoussé par le courant de la portion CB. Parvenu dans la situation *a'b*, l'attraction de AC continuera, et celle de CB, viendra s'y joindre. Si le conducteur parvient ainsi dans la situation *a''b*, il sera repoussé par la portion AC et attiré par la portion CB; il arrivera donc en *a'''b*, et alors la portion CB le repoussera pour le ramener à sa direction primitive *ab*. On voit que ce mouvement circulaire s'opérera dans le sens du courant AB, si le courant du petit conducteur *ab* s'approche de son point fixe, tandis qu'il aurait lieu en sens contraire si le courant du petit conducteur s'éloignait de son point fixe.

Si l'on établit un conducteur circulaire dans lequel un courant marche de A en B (*fig.* 135), que l'on place au-dedans de ce courant un conducteur *ba* mobile sur le point *b*, dans lequel le courant marche de *a* en *b*, on conçoit qu'il devra se livrer aussi à un mouvement de rotation continu, car, dans le cas supposé, la portion AC repoussera le conducteur *ba*, tandis que la portion BC l'attirera. Cette proposition s'applique à tous les points du cercle où le conducteur *ab* pourra se transporter.

Les phénomènes de rotation que nous venons d'exposer peuvent se réaliser au moyen d'un cercle de métal traversé, suivant un de ses diamètres, par une tige conductrice qui est pourtant isolée de l'un des côtés de ce cercle par un corps non conducteur. Le milieu de cette tige repose par une pointe fixe sur une tige conductrice, et le cercle plonge dans un liquide acidule; on fait communiquer la tige métallique avec un des pôles de la pile, et le liquide avec l'autre. Dans cet état, le fluide passe à tra-

vers le liquide dans le cercle, et forme des courans perpendiculaires à sa surface, qui ne peuvent produire aucun mouvement; le fluide passe ensuite dans l'une des moitiés du diamètre conducteur, pour aller rejoindre la tige centrale, ce qui ne devrait produire encore aucun mouvement dans le cercle, si la terre elle-même ne présentait naturellement, comme nous le verrons bientôt, des courans qui font mouvoir le petit appareil. Quoi qu'il en soit, si l'on approche cette machine d'un conducteur droit qui soit le siége d'un courant, le cercle entrera dans un mouvement de rotation, dont le sens dépendra des directions relatives du courant extérieur et de celui qui a lieu dans le demi-diamètre conducteur. La rotation s'établira de même si l'on environne l'appareil d'un cercle métallique occupé par un courant quelconque.

On peut rendre les effets dynamiques d'un courant circulaire infiniment plus énergiques qu'ils ne le sont naturellement, en employant un fil de métal recouvert de soie et contourné un grand nombre de fois sur lui-même; les différens contours restent isolés par la présence de la soie, et les effets se trouvent proportionnels au nombre de circonvolutions qui sont chacune le siége d'un courant.

INFLUENCE DE LA TERRE SUR LES CONDUCTEURS MOBILES.

355. Lorsque l'on construit des conducteurs mobiles d'une assez grande étendue, et sujets dans leurs mouvemens aux moindres frottemens possibles, on observe qu'ils prennent spontanément, quand on y fait passer des courans, des directions fixes particulières relativement aux différentes parties du globe. On voit aussi que des appareils de rotation, tels que nous les avons décrits, se meuvent spontanément, sans qu'il soit nécessaire d'établir au-

tour d'eux aucun courant artificiel; et, si l'on compare tous les mouvemens et toutes les situations que peuvent prendre spontanément ces conducteurs mobiles, on trouve qu'ils sont tels que pourraient les produire des courans circulaires qui existeraient autour du globe, dans la direction de l'équateur magnétique, d'orient en occident, et dont le plus considérable répondrait précisément à cet équateur. Les faits et les rapports sont si nombreux et coïncident si parfaitement les uns avec les autres, que l'existence de ces courans autour du globe peut être regardée comme démontrée.

Aucun effet de l'influence du globe n'est plus remarquable que ce qui se passe dans l'appareil que nous allons décrire. Si l'on prend un tube de verre et qu'on l'entoure d'un fil métallique roulé en hélice comme un ressort à boudin ; si l'on fait revenir une de ses extrémités en ligne droite par l'intérieur du tube, et si l'on suspend transversalement l'appareil par son centre de gravité, à l'aide de pointes qui établissent un courant galvanique dans l'hélice et dans le conducteur droit, on trouvera que la colonne se dirigera d'elle-même précisément comme une aiguille aimantée, c'est-à-dire à peu près vers un des pôles de la terre. En effet, le courant commun qui parcourt l'hélice est susceptible de produire et de recevoir deux genres d'influence, l'une quant au conducteur droit que l'hélice représente; mais celle-ci est compensée et annulée par le conducteur rectiligne qui revient dans l'intérieur du tube; l'autre, par la série de courans circulaires qui sont perpendiculaires à l'axe. Tous ces courans, suspendus par leur milieu, doivent tendre à devenir parallèles au courant de l'équateur terrestre, c'est-à-dire à diriger l'axe du cylindre d'un pôle à l'autre; et c'est ce qui arrive en effet.

Cet appareil, que l'on nomme *cylindre électro-dyna-*

mique, a des pôles comme un aimant, et en présente presque toutes les propriétés. Son pôle austral se place à la gauche d'un courant rectiligne, qui le traverse à angle droit par son milieu; ce pôle austral se dirige naturellement vers le pôle nord de la terre, et cette extrémité s'abaisse du côté du pôle.

DES PHÉNOMÈNES MAGNÉTIQUES.

356. Nous avons vu que les aimans naturels ou artificiels avaient la propriété, mal expliquée jusqu'ici, de se diriger vers les pôles; mais une découverte importante de M. Œrstedt a fait entrevoir de singulières analogies entre la cause qui produit ces effets et le fluide galvanique.

Si l'on place une aiguille aimantée dans le voisinage d'un courant électrique, elle se trouve immédiatement dérangée de sa direction naturelle. Si on la place au-dessus ou au-dessous de ce courant, elle tend à se diriger perpendiculairement à sa direction; mais elle en est ordinairement plus ou moins empêchée par sa tendance à se diriger vers les pôles de la terre; tandis que si l'on emploie une aiguille rendue indifférente à toute position, par la méthode de M. Ampère, elle se dirige exactement en travers du courant galvanique, le pôle austral à sa gauche, et le pôle boréal à sa droite. Si l'aiguille est placée dans le même plan horizontal que le courant, elle éprouve en partie la même déviation. Cette première observation de M. Œrstedt a donné lieu depuis à l'invention d'un instrument bien important, que l'on nomme *galvanomètre*, et qui sert à annoncer l'existence du plus faible courant galvanique, et à faire connaître sa direction. Cet instrument consiste en une aiguille très-faiblement aimantée et suspendue par un fil. On place

cette aiguille dans une espèce de boîte ouverte par ses côtés, et autour de laquelle on enveloppe un grand nombre de fois un fil métallique couvert de soie, que l'on rend conducteur des effets galvaniques que l'on veut observer.

C'est avec cet instrument, rendu plus sensible encore par la présence d'un aimant qui détruit presque complétement la force directrice naturelle de l'aiguille, que M. Becquerel a constaté la production de courans électriques entre des corps diversement chauffés, dans toutes les combinaisons chimiques, dans le simple contact d'une multitude de corps, et même par la simple imbibition de l'eau par un corps poreux.

Non-seulement une aiguille aimantée est influencée par des courans galvaniques, mais on trouve que, dans toutes les circonstances possibles, les aimans ressemblent parfaitement au cylindre électro-dynamique dont nous avons donné la description, et se comportent de même; en sorte que l'on doit les considérer comme des corps dans lesquels il existe des courans dont la direction est à peu près perpendiculaire à leur axe. Cette analogie est tellement générale, que l'on peut toujours, en suivant bien la théorie, faire produire à un aimant les effets des courans galvaniques, ou réciproquement.

Si l'analogie que nous venons d'indiquer est en effet bien réelle, il s'ensuit que l'on doit pouvoir communiquer l'aimantation par l'influence des courans galvaniques, et c'est en effet ce que M. Arago a démontré par l'expérience; car si l'on place une tige de fer dans l'intérieur du cylindre électro-dynamique, elle s'aimante rapidement et prend les mêmes pôles que ce cylindre. La même chose arrive quand on établit dans cette barre un courant galvanique ou électrique; mais les pôles dépendent alors de la direction où se trouve le barreau métallique.

Le nouvel ordre de connaissances physiques dont nous venons de donner une idée si superficielle est dû principalement aux travaux de MM. OErstedt, Ampère, Faraday, Arago, Savary, Becquerel, etc.

357. *Contractions musculaires.* — MM. Prévost et Dumas ont fait, sur la contraction musculaire, des observations microscopiques très-intéressantes, qui semblent rapprocher ce phénomène du genre de mouvemens produits par l'attraction des conducteurs galvaniques. Ils ont remarqué que les fibriles musculaires étaient toujours traversées perpendiculairement par les filets nerveux qui se distribuent dans les muscles; que ces filets nerveux étaient en quelque sorte fixés aux fibres musculaires; que dans la contraction les fibres musculaires ne se raccourcissaient que parce qu'elles se ployaient en zig-zag; et enfin, que les angles formés par ces plis étaient précisément le lieu du passage des filets nerveux; d'où l'on pourrait conclure 1° que la fibre musculaire proprement dite est réellement passive dans les contractions musculaires; 2° que ces contractions dépendent d'attractions réciproques des filets nerveux considérés comme des conducteurs galvaniques.

POISSONS ÉLECTRIQUES.

358. Il existe un certain nombre de poissons qui ont la faculté de produire des commotions qui paraissent avoir la plus grande analogie avec les secousses galvaniques. Les plus remarquables sont la *torpille*, poisson plat, du genre des raies, et la *gymnote*, qui est une espèce d'anguille. Cette faculté semble leur avoir été donnée par la nature comme une arme pour se défendre de leurs ennemis ou pour attaquer leur proie. Lorsqu'on les touche, on éprouve

en effet une commotion souvent très-violente, et qui peut se transmettre à plusieurs personnes en communication. Mais cette décharge paraît dépendre de la volonté de ces animaux, car elle manque souvent quand on les touche doucement, et se répète rapidement un grand nombre de fois lorsqu'on les irrite. Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que ces animaux paraissent jouir de la faculté de transmettre cette commotion, à travers l'eau, à une certaine distance et dans une direction qui leur convient.

On a cru trouver, dans la structure anatomique de ces animaux, quelque chose qui ressemble à une pile voltaïque. Néanmoins, sur une gymnote que nous avons eu l'occasion de voir au jardin du roi, MM. Ampère et Arago ont fait d'inutiles tentatives pour rechercher si l'aiguille aimantée serait déviée dans le voisinage de l'animal, ou si les commotions traversant un cylindre électro-dynamique communiqueraient l'aimantation au fer. On n'a jamais observé non plus aucune attraction ni répulsion produite par les organes de ces poissons.

LIVRE SEPTIÈME.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA LUMIÈRE EN GÉNÉRAL.

359. Nous avons étudié jusqu'ici la matière et toutes les variétés de corps qu'elle forme, ainsi que les phénomènes que ces corps produisent sous l'influence de l'attraction, du calorique et de l'électricité. Il nous reste à examiner certains phénomènes que ces corps produisent, sans qu'on puisse s'en rendre compte par aucune des causes citées. Ces effets consistent dans la propriété que possèdent presque tous les corps de la nature de produire sur nous des impressions très-fortes et très-distinctes, sans aucun contact direct; en sorte que nous acquérons par un de nos sens la conscience de l'existence de ces corps, et une notion plus ou moins exacte de leur figure, de leur couleur et de leur situation dans l'espace, quoiqu'ils soient placés à une grande distance, et lorsqu'ils se trouvent dans certaines conditions indispensables.

L'organe qui reçoit ces impressions constitue le sens de la vue. La propriété que possèdent les corps d'affecter ce sens se nomme visibilité. La condition de cette propriété des corps est qu'ils soient actuellement en rapport avec d'autres corps que l'on nomme lumineux, et enfin la

cause générale de tous ces phénomènes a été nommée *lumière*.

On peut faire et on a fait diverses suppositions sur la nature et le mode d'action de la cause qui produit la visibilité des corps : Descartes admettait qu'il y avait dans tous les points de l'espace un fluide qui n'affectait point nos sens quand il était en repos, mais que les corps lumineux avaient la propriété de le mettre en vibration, et que ces vibrations, diversement réfléchies et combinées, produisaient tous les phénomènes de lumière.

Newton établissait, au contraire, que la lumière était un fluide émanant des corps lumineux, lancé ou projeté par ces corps dans l'espace, et qui, modifié dans sa marche par les corps qui le réfléchissaient ou le laissaient traverser leur substance, donnait lieu, par contact immédiat, aux phénomènes que nous observons.

Le système de Newton a été presque généralement adopté par les physiciens jusqu'à nos jours, où le docteur Young et M. Fresnel, renouvelant la supposition d'un fluide préexistant dans l'espace, sont parvenus à rendre compte avec beaucoup d'exactitude, et même à soumettre au calcul les phénomènes de lumière les plus délicats, en supposant des ondulations produites dans ce fluide préexistant.

De ces deux manières de concevoir et d'expliquer les phénomènes de lumière, la première, qu'on a nommée *système de l'émission*, présente une intelligence plus claire et plus facile de tous les phénomènes vulgaires, mais se trouve en défaut dans un certain nombre de circonstances; la seconde, qui porte le nom de *système des ondulations*, explique avec une grande précision les circonstances les plus minutieuses de ces phénomènes, et se prête facilement à l'application du calcul; mais elle ne peut être conçue qu'avec des notions étendues de mathématiques, et

par des esprits familiers avec l'abstraction. Nous croyons donc devoir exposer les phénomènes de lumière dans le système de l'émission, sauf à citer quelques-unes des circonstances qui ont pu déterminer l'adoption du système des ondulations.

Tous les phénomènes que la lumière nous présente constituent une science qui porte le nom d'*optique*. Elle se divise en deux parties : la première, qui porte le nom de *catoptrique*, s'occupe du phénomène de réflexion de la lumière; et la seconde, qui porte le nom de *dioptrique*, étudie les effets qui se produisent quand la lumière traverse les corps. Mais il est nécessaire d'exposer d'abord l'idée qu'on se fait, dans le système de l'émission, du *rayonnement* de la lumière, de la *direction* qu'elle suit, de *sa vitesse*, de son *intensité* à différentes distances, et enfin de ce qu'on nomme l'ombre.

360. *Rayonnement.* On suppose que la lumière est formée de particules infiniment petites qui sont lancées de tous les points de la surface du corps lumineux, de telle manière que de chacun des points de cette surface il s'échappe en même temps des molécules de lumière dans toutes les directions possibles; d'où il résulte que le corps lumineux ayant une certaine étendue, les molécules doivent se croiser dans tous les sens en quittant la surface du corps.

Il est très-important de se faire une idée exacte de ce rayonnement, car si l'on suppose un corps d'une surface circulaire quelconque exposé au rayonnement lumineux d'un autre corps, on pourra concevoir autant de cônes lumineux qu'il y a de points dans la surface du corps rayonnant, et tous ces cônes auront pour sommet le point du départ et pour base la face circulaire du corps éclairé; et d'une autre part, si l'on reçoit par une très-petite ou-

verture pratiquée au volet d'une chambre obscure, la lumière envoyée par tous les points du soleil, il se formera dans la chambre un cône lumineux dont la base ira se projeter sur les parois opposées, et dont le sommet, légèrement tronqué, sera formé par l'ouverture elle-même. Le cône dont nous parlons ici est évidemment formé de rayons partis de tous les points de la surface du soleil qui viennent s'engager dans la petite ouverture, qui s'y croisent nécessairement, et qui vont former sur les parois l'image du soleil. Il faut soigneusement distinguer les deux genres de cônes dont nous venons de parler. Ceux dont les sommets se trouvent à la surface du corps lumineux peuvent présenter plus ou moins de divergence, suivant la distance à laquelle on se trouve de ce corps. Ceux qui se forment par la petite ouverture ont une divergence qui dépend à la fois de la distance et de l'étendue du corps lumineux.

361. *Direction.* — On admet que les molécules qui partent de la surface d'un corps lumineux commencent dès lors à se mouvoir dans l'espace avec une grande vitesse et toujours en ligne droite. On admet que ces molécules se trouvent, dans leur route, situées à de grandes distances les unes des autres, relativement à leur volume, ce qui permet de concevoir comment une multitude de ces files de molécules peuvent passer à la fois dans la plus petite ouverture sans s'arrêter ou se gêner réciproquement. Nous ne possédons aucun moyen d'isoler une pareille file de molécules lumineuses, ce qui constituerait véritablement un *rayon* de lumière, car la plus petite ouverture par laquelle on puisse obliger la lumière à passer peut encore admettre un très-grand nombre de ces rayons élémentaires. En conséquence, quand on emploie l'expression de *rayon lumineux*, on entend toujours le cône ou la pyramide qui a pour base l'ouverture ou la surface

qui reçoit la lumière, et pour sommet un des points du corps lumineux. Et tout ce que l'on dit de la *direction* de ce rayon se rapporte exactement à l'axe de ce cône.

S'il était nécessaire d'apporter une preuve de la marche de la lumière en ligne droite, il suffirait d'interposer un corps opaque entre l'œil et le corps lumineux. Il faut seulement remarquer que non seulement la lumière marche en ligne droite, mais qu'elle se propage exclusivement de cette manière; en sorte qu'un rayon lumineux ne produit absolument aucun effet en dehors de sa direction, et que si l'on aperçoit quelquefois latéralement les rayons de soleil qui traversent une chambre obscure, cela tient à ce que l'atmosphère contient en suspension quelques petits corps opaques qui réfléchissent une portion de la lumière jusqu'à l'œil.

Il est évident que si un petit cône de lumière vient à tomber sur une surface donnée, en partant d'un point lumineux quelconque, deux rayons extrêmes de ce cône lumineux formeront entre eux un angle qui dépendra du diamètre de la base et de la longueur du cône, ou de la distance qu'il y a entre le point lumineux et la surface éclairée. Il en résulte que tous les corps dont nous pouvons disposer, et qui envoient de la lumière sur d'autres corps voisins, produisent des rayons qui sont très-sensiblement divergens, mais à des degrés fort différens suivant les deux conditions que nous venons d'établir. Il en résulte encore que les rayons partis de la surface du soleil et arrivés jusqu'à nous, produisent des angles infiniment petits, et peuvent passer pour parallèles, attendu que la distance du soleil à la terre est de plus de 33,000,000 de lieues, tandis que les surfaces sur lesquelles nous recevons ces rayons peuvent être regardées comme infiniment petites relativement à cette grande distance.

362. *Vitesse.* — On a cru pendant long-temps que la lumière se transmettait instantanément d'un point à un autre, ou plutôt on était loin de soupçonner qu'elle employât un temps quelconque à parcourir l'espace. Roemer démontra le premier que la lumière n'arrivait pas instantanément des satellites de Jupiter jusqu'à nous, puisqu'en calculant la marche de ces satellites autour de cette planète, et en observant leurs éclipses derrière elle, on trouvait toujours qu'ils restaient visibles quelque temps après le moment où ils auraient dû disparaître derrière la planète, et qu'ils ne reparaissaient du côté opposé que quelques instans après le moment où ils devaient être dégagés de son disque. Les différentes situations de la terre par rapport à la planète ont confirmé ce résultat, en montrant que les retardemens variaient avec les distances de la terre à la planète.

Il résulte du calcul et d'un grand nombre d'observations analogues, que la lumière emploie à peu près 8′ 13″ à venir du soleil jusqu'à nous; ce qui suppose une vitesse d'environ 70,000 lieues par seconde.

Le temps nécessaire pour que la lumière parcoure ainsi les grands espaces qui séparent les corps célestes donne lieu de remarquer cette singulière proposition, que nous ne voyons jamais les objets situés dans le ciel à la place qu'ils occupent réellement, mais bien à celle qu'ils occupaient lorsqu'ils nous ont envoyé la lumière qui nous affecte actuellement; et du reste, l'étendue du monde visible est si considérable, que la lumière met probablement plusieurs années à venir des plus petites étoiles fixes jusqu'à la terre; en sorte que si l'une d'elles disparaissait aujourd'hui, nos astronomes la verraient encore pendant plusieurs années. Enfin, si nous ne savons pas quel est le maximum d'éloignement des plus petites étoiles, nous

savons du moins à peu près que les plus voisines de la terre en sont assez éloignées pour que leur lumière emploie environ trois ans pour arriver jusqu'à nous.

La vitesse de la lumière peut donner une idée de la masse des molécules qui la composent. En effet, la quantité de mouvement d'un corps est le résultat du produit de sa masse par sa vitesse; la quantité de mouvement de la lumière paraît justement assez considérable pour affecter la membrane rétine, le plus délicat et le plus sensible de nos organes. Or, si l'on supposait aux molécules de la lumière une des plus petites masses que l'on puisse calculer, sa quantité de mouvement serait encore plus considérable que celle d'une balle de fusil. Il faut donc que les particules de la lumière aient une masse infiniment petite pour ne pas blesser la rétine.

363. *Intensité de la lumière.* — L'intensité de la lumière est extrêmement variable, suivant la nature des corps qui la produisent. Mais la lumière produite par un corps lumineux déterminé, diminue d'intensité à mesure qu'on s'éloigne de ce corps. Cette diminution a lieu en raison directe du carré des distances. Cette proposition est une conséquence géométrique du fait même du rayonnement. En effet, une surface circulaire éclairée présente la base d'un cône lumineux. Si l'on prolonge ce cône à une distance double, la surface de cette base deviendra quadruple; et par conséquent, si la surface primitive était transportée à cette distance double, elle ne recevrait que le quart des rayons lumineux qu'elle interceptait d'abord. Sans changer la distance entre la surface éclairée et le point lumineux, on peut faire changer l'intensité de la lumière. Il suffit pour cela d'incliner la surface sur l'axe du cône, car alors cette surface interceptera d'autant moins de rayons lumineux qu'elle sera située plus

obliquement. Il est très-difficile d'apprécier les facultés illuminantes de différentes lumières, à cause de l'incertitude des jugemens qui reposent sur nos sensations. Mais on y parvient, comme nous le dirons bientôt, par la comparaison des ombres.

364. *Sources de la lumière.* — Il existe, pour le globe que nous habitons, une source principale de lumière dans le soleil, situé au centre de notre système planétaire. Mais comme la lumière marche exclusivement en ligne droite, et que la terre a une forme à peu près sphérique, la moitié seulement de ce globe est continuellement éclairée par le soleil, pendant que l'autre reste privée de ses rayons. Le mouvement annuel de la terre autour du soleil, et son mouvement journalier de rotation sur elle-même, font varier de deux manières la situation de cette moitié éclairée. Il en résulte des *jours* et des *nuits* qui peuvent être égaux et de douze heures sous l'équateur, qui peuvent être égaux et de six mois vers les pôles, et qui, dans les régions intermédiaires, peuvent être égaux dans certains temps de l'année et inégaux à toutes les autres époques.

L'obscurité complète qui devrait résulter de ce que nous nommons l'absence du soleil est corrigée par deux autres sources de lumière. La lune, en parcourant son orbite autour de la terre, et l'accompagnant dans sa marche autour du soleil, en est éclairée comme elle, et présente à la terre une surface réfléchissante qui lui envoie de la lumière, et qui nous apparaît sous des figures variées que l'on nomme *phases* de la lune. Cette lumière réfléchie subvient à la plupart de nos besoins dans l'absence du soleil; mais alors même qu'elle nous manque, les autres planètes, et surtout des milliers d'étoiles fixes, nous envoient sans cesse, malgré leur distance, une assez

grande quantité de lumière pour prévenir une obscurité complète. Le seul cas d'une absence presque totale de lumière à la surface de la terre, est celui où des nuages épais la recouvrant pendant la nuit, interceptent la faible lumière des astres.

Un grand nombre de phénomènes locaux, et que nous pouvons en général reproduire à volonté, deviennent des sources artificielles de lumière, dont nous faisons un fréquent usage. Toutes les combinaisons des corps qui s'exercent en vertu d'une grande affinité, et qui produisent en eux une condensation considérable, donnent lieu à un dégagement de lumière que nous pouvons mettre à profit pour nos besoins ou pour nos expériences. Mais c'est particulièment la combustion qui entretient nos foyers de lumière artificielle. L'huile, la cire, les graisses, les corps résineux, dégagent beaucoup de lumière en se combinant avec l'oxigène, et d'autant plus que leur combustion est plus parfaite. Mais depuis quelque temps le gaz hydrogène per-carboné est fort employé à cet usage.

On observe, comme lois générales, 1° que tous les corps connus commencent à devenir lumineux aussitôt qu'on élève leur température au-dessus de 500° du thermomètre centigrade; 2° qu'à égalité de température, les corps solides produisent beaucoup plus de lumière que les corps gazeux. Aussi attribue-t-on celle qui est fournie en si grande quantité par le gaz hydrogène per-carboné, aux molécules de carbone qui sont momentanément déposées dans la flamme, lorsque l'hydrogène brûle le premier, suivant l'ordre de la combustibilité.

365. *De l'ombre.* — La lumière se mouvant exclusivement en ligne droite, et n'ayant pas la propriété de traverser certains corps, qu'à cause de cela on nomme *opaques*, il en résulte derrière ces corps, quand on les expose

au rayonnement d'un corps lumineux, un espace privé de lumière, que l'on nomme l'*ombre* d'un corps opaque. Cette ombre, considérée dans un espace libre, prend des formes qui dépendent des situations et des figures relatives du corps lumineux et du corps opaque. Si le corps lumineux est un point L (*fig.* 136), et qu'on lui présente un corps opaque sphérique AB, un peu moins de la moitié de cette sphère se trouvera éclairée; l'autre moitié sera dans l'ombre, et cette ombre s'étendra indéfiniment sous la forme d'un cône tronqué ABCD, dont la petite base sera représentée par AB, et la large base indéfinie.

Si le corps lumineux a un certain diamètre, et qu'on lui oppose (*fig.* 137) un corps sphérique opaque plus petit, un peu plus de la moitié de cette sphère sera éclairée; l'autre moitié sera dans l'ombre, et cette ombre se prolongera derrière le corps opaque en un cône dont AB sera la base, et dont le sommet C se trouvera placé à une distance qui dépendra de l'écartement et des rapports de volume des deux corps.

Les deux principes que nous venons d'établir suffisent pour l'intelligence des différentes éclipses.

Si l'ombre d'un corps est projetée sur un plan (*fig.* 138), elle y tracera une image distincte par l'absence de lumière. Cette image affectera des formes très-variées, suivant la situation et la direction du plan. On pourra toujours les déterminer en considérant le plan comme opérant la section du cône ou de la pyramide que constitue l'ombre.

Il n'existe pas d'ombre absolue, c'est-à-dire dans laquelle il y ait absence totale de lumière; car l'espace qu'occupe l'ombre déterminée par un corps lumineux quelconque, se trouve habituellement pénétré par des rayons de lumière qui proviennent, en plus ou moins grande

quantité, de tous les corps environnans. Aussi remarque-t-on que, quoique l'ombre paraisse généralement noire, elle est toujours plus ou moins colorée.

L'intensité de l'ombre est toujours proportionnelle à l'intensité de la lumière, puisqu'elle résulte, pour notre œil, de la comparaison des points éclairés avec ceux qui ne le sont pas. Cette propriété a fourni le moyen de mesurer l'intensité comparative de différentes lumières; car on peut toujours projeter sur un plan, l'une à côté de l'autre, deux ombres produites par deux lumières différentes; et quand ces deux ombres paraissent également noires, on peut en conclure que les deux lumières sont égales en intensité. Si donc on veut comparer, par exemple, la lumière d'une bougie avec celle d'un quinquet, on déterminera, sur une surface blanche, la projection des ombres de deux petits carrés de carton, l'une produite par la bougie, et l'autre par le quinquet. On trouvera alors que l'ombre du quinquet est beaucoup plus forte que celle de la bougie; mais en rapprochant celle-ci ou en éloignant le quinquet, on parviendra à rendre les ombres égales. Et si l'on mesure alors les distances de l'un et l'autre corps lumineux au plan de projection, et qu'on élève ces distances au carré, le rapport de ces carrés donnera celui de l'intensité des lumières.

L'ombre produite par un corps lumineux d'un certain volume ne peut jamais être parfaitement découpée dans son contour, ou d'une intensité uniforme; car si nous considérons (*fig.* 139) les deux points diamétralement opposés L, L′, du corps lumineux, nous verrons que le point L formera un cône LOP′, qui formera une ombre faible OP′; que le point L′ formera de son côté un autre cône L′O′P, qui produira aussi une ombre faible; mais que ces deux ombres se réuniront dans l'espace OO′; et si

l'on considérait ainsi successivement tous les points de la surface du corps éclairant, il en résulterait un cercle très-noir, dont OO′ serait le diamètre, et un autre cercle d'autant moins noir qu'on s'approcherait de sa circonférence, et dont PP′ serait le diamètre. Cet anneau, faiblement ombré, qui enveloppe toujours l'ombre principale, porte le nom de *pénombre*. On conçoit qu'elle n'existerait pas si le corps était éclairé par un seul point lumineux.

On observe encore, dans l'ombre du corps, quelques circonstances remarquables. Si, par exemple, une boule noire est exposée aux rayons du soleil, et qu'elle projette son ombre sur un plan, on verra que le centre de l'ombre véritable est moins noir que sa circonférence, et qu'au delà de la pénombre il existe un cercle plus éclairé que le reste du plan. Si, du reste, on regarde la boule noire de manière à ce qu'elle couvre entièrement le disque du soleil, elle semblera environnée d'une auréole lumineuse.

Les partisans du système de l'émission expliquent ces effets en disant que les rayons lumineux qui passent le plus près possible de la circonférence du corps opaque en sont attirés, déviés dans leur marche, et portés vers le centre de l'ombre, ce qui en diminue l'intensité; que d'autres rayons moins voisins ne reçoivent aucune influence, ce qui produit le contour de l'ombre vraie; et qu'enfin des rayons un peu plus éloignés éprouvent une répulsion qui les porte en dehors de la pénombre, où, s'unissant avec les rayons directs, ils forment la lumière plus vive qui se produit dans cet endroit, c'est-à-dire l'auréole qu'on aperçoit directement. Il faut convenir que cette explication n'est pas entièrement satisfaisante, attendu que la nature du corps opaque n'influe en rien sur le phénomène; ce qui devrait arriver, s'il était dû à l'attraction. Le système des

ondulations rend compte de ces circonstances d'une manière beaucoup plus complète.

CHAPITRE II.

DE LA LUMIÈRE RÉFLÉCHIE, OU CATOPTRIQUE.

366. Lorsque la lumière projetée par un corps lumineux, et parcourant l'espace suivant les lois que nous avons indiquées, vient à rencontrer les corps naturels, il peut arriver que ceux-ci soient insusceptibles de la laisser pénétrer dans leur substance et traverser leur épaisseur. Dans ce cas, ils prennent le nom de *corps opaques*, et la lumière est renvoyée ou *réfléchie* de leur surface. Il peut encore arriver que ces corps se laissent pénétrer par la lumière qui les traverse; dans ce cas ils prennent le nom de *corps transparens*, et la lumière éprouve, en les traversant, des modifications particulières. Les phénomènes qui sont produits par la réflexion, et les lois qui y président, constituent la *catoptrique*, dont nous allons nous occuper.

La surface des corps opaques sur laquelle la lumière vient frapper, peut être plane et polie; elle peut être concave et polie; elle peut être convexe et polie; enfin elle peut être inégale. Ces différens cas doivent être examinés successivement.

Miroirs plans. — Lorsqu'un corps opaque est plan et bien poli, il constitue ce qu'on nomme un *miroir*, pourvu que la substance du corps se prête à un poli suffisant, ce

à quoi les métaux et particulièrement certains alliages sont éminemment propres.

Lorsque la lumière tombe sur un miroir, elle en est réfléchie, *en faisant un angle de réflexion parfaitement égal à l'angle d'incidence.* On entend par angle d'incidence celui que forme avec le plan le rayon qui vient le frapper, et par angle de réflexion celui que forme le rayon réfléchi avec le même plan. Si, par exemple, la ligne AB (*fig.* 140) représente la coupe d'un miroir plan, supposant que le rayon incident soit RC, et le rayon réfléchi CR′, nous disons que l'angle R′CB sera toujours égal à l'angle RCA. Cette proposition est une suite de ce que nous avons démontré (150) en parlant du choc d'une bille élastique sur un plan, pourvu que l'on considère le rayon de lumière comme formé d'une suite de particules éminemment élastiques et se mouvant avec une grande vitesse. Mais on peut la démontrer par une expérience directe. Si dans une chambre obscure on laisse pénétrer un trait de lumière par une petite ouverture, que l'on fasse tomber ce trait de lumière obliquement sur un miroir plan, et que l'on pose sur ce miroir un demi-cercle gradué, dont le centre corresponde au point d'incidence des rayons lumineux, on lira sur ce cercle des degrés parfaitement égaux pour les angles d'incidence et de réflexion.

Une conséquence naturelle de la loi très-générale que nous venons d'exprimer, c'est qu'un rayon tombant perpendiculairement sur un plan, est renvoyé précisément dans la direction de son incidence.

Lorsque nous avons parlé d'un corps poli constituant le miroir, nous avons dû nous en rapporter à nos sens pour juger de ce poli. Mais il est pourtant vrai de dire qu'un semblable corps doit présenter des porosités ou des enfoncemens et des saillies intermédiaires qui, par rapport à

l'extrême ténuité des molécules de la lumière, doivent être énormes, et par conséquent il est impossible d'imaginer qu'un rayon lumineux puisse se réfléchir régulièrement sur une surface effectivement aussi inégale. C'est pourquoi tous les physiciens ont admis que la lumière se réfléchissait avant d'arriver au contact des corps réfléchissans, les uns supposant que les corps contiennent de la lumière qui présente une couche uniforme et parfaitement élastique à leur surface, pour réfléchir les molécules lumineuses étrangères qui viennent la frapper; les autres admettant dans les corps une force de répulsion qui commence à agir sur la lumière incidente avant qu'elle soit arrivée au contact, et qui ne le permet jamais. Cette dernière opinion, qui ne préjuge rien sur la cause de cette répulsion, est la plus généralement adoptée.

Tous les corps exposés aux rayons d'une lumière naturelle ou artificielle sont visibles pour nous en vertu des dispositions de l'œil, et des lois de la vision dont nous traiterons à cet article. Cette visibilité dépend de ce que chaque point du corps renvoie dans l'espace des rayons lumineux dans toutes les directions, et qu'un de ces rayons parvient jusqu'à l'œil. Lorsqu'un semblable objet est placé au devant d'un miroir plan, tous ses rayons vont tomber sur le miroir et s'y réfléchissent en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence; ils conservent par conséquent, les uns par rapport aux autres, exactement les mêmes distances, en sorte qu'un œil placé aussi au devant de ce miroir peut être affecté exactement de la même manière par ces rayons réfléchis, qu'il le serait par les rayons directement émanés du corps, si l'œil était placé dans le lieu du miroir; d'où il résulte que les miroirs plans nous offrent une image fidèle des objets placés au devant d'eux.

Nous avons l'habitude de rapporter le lieu des objets visibles dans la direction et à l'extrémité des rayons qui viennent frapper notre œil; et en conséquence, en voyant l'image d'un objet réfléchi par un miroir, nous supposons le lieu de cet objet derrière le miroir à une profondeur égale à l'intervalle qui sépare réellement l'objet visible du miroir. Par exemple, si un objet *a b* est placé au devant d'un miroir plan AB (*fig.* 141), et un œil au point C, parmi les rayons que les extrémités de cet objet envoient sur tous les points du miroir, il se trouvera deux rayons *a*R *b*S, qui, en se réfléchissant sur le miroir, pourront se réunir au point C et pénétreront dans l'œil. Mais cet œil, rapportant l'existence de cet objet dans la direction des rayons CR et CS, et jugeant de sa grandeur par l'angle RCS qu'ils font entre eux, supposera l'objet placé en *a'b'*.

On peut remarquer en général que tous les objets vus dans un miroir donnent des images renversées de droite à gauche. Si, par exemple, dans la *fig.* 141, un homme regardait la flèche *ab* du lieu même du miroir, il la verrait parfaitement semblable à ce qui est aperçu du point C par réflexion. Mais dans le premier cas, il aurait la pointe à sa droite et l'aile à sa gauche; tandis qu'en regardant dans le miroir, l'inverse a lieu. C'est pour cette raison que les graveurs regardent les originaux qu'ils copient sur le cuivre dans une glace, afin de produire un premier renversement qui sera compensé par celui qui résulte du transport de la gravure sur une feuille de papier.

On peut, à l'aide de deux miroirs plans, multiplier beaucoup les images des objets. C'est ce qui arrive tous les jours dans les miroirs parallèles; et les glaces de nos salons, lorsqu'elles sont parfaitement posées, répètent une infinité de fois les objets placés entre elles, pourvu que l'œil ne se trouve pas dans la direction même de cet

objet, auquel cas toutes les images seraient superposées.

On peut aussi obtenir un grand nombre d'images à l'aide de deux miroirs plans qui forment entre eux un angle plus ou moins aigu; et c'est l'effet produit dans le petit instrument nommé *kaléidoscope*.

La réflexion de la lumière par les miroirs plans présente quelques circonstances qu'il est important de remarquer. 1° Il s'en faut de beaucoup que la totalité de la lumière soit réfléchie par les miroirs; les mieux préparés n'en renvoient ordinairement que la moitié. Il est difficile de dire ce que devient la lumière qui n'est pas réfléchie; on pense qu'elle est absorbée par le miroir, ou du moins qu'elle est modifiée par la réflexion, de manière à ne plus affecter nos sens. 2° La couleur des miroirs influe beaucoup sur la quantité de lumière qu'ils réfléchissent; les noirs en réfléchissent le moins, et les blancs le plus possible. 3° L'incidence sous laquelle la lumière tombe sur un miroir n'influe pas moins sur la quantité de lumière réfléchie, en sorte qu'un miroir noir réfléchit, sous un angle très-aigu, presque autant de lumière qu'un miroir blanc. 4° Les corps opaques ne sont pas les seuls qui puissent constituer des miroirs; car le corps le plus transparent peut réfléchir presque complètement la lumière, pourvu que son incidence soit assez oblique, comme on peut souvent le remarquer aux carreaux de vitre. 5° La plupart des miroirs dont nous faisons usage ne sont pas aussi simples que nous l'avons supposé d'abord. On les prépare le plus souvent avec une lame vitreuse d'une certaine épaisseur, que l'on recouvre, sur une de ses surfaces, d'un amalgame de mercure et d'étain. Ces sortes de miroirs donnent toujours des images multiples, lorsque les rayons incidens ont une certaine obliquité. En effet, la surface externe de la lame de verre

produit une première réflexion; la surface étamée en produit une seconde; et les rayons, qui ressortent de l'épaisseur du miroir, se réfléchissent encore en repassant dans l'air; phénomènes que nous entendrons mieux en parlant des effets de la lumière qui traverse des milieux transparens. On observe aisément ces images multiples en plaçant une lumière près d'une glace, et regardant très-obliquement dans l'intérieur.

MIROIRS CONCAVES.

367. Lorsque les rayons lumineux tombent sur une surface polie qui présente une forme concave, leur réflexion a lieu suivant la loi générale que nous avons établie, en considérant le point sur lequel tombe le rayon comme un très-petit plan faisant partie du plan tangent à la surface courbe dans le point d'incidence du rayon. On trouvera donc la marche de la lumière en rendant égaux les angles de réflexion et d'incidence par rapport à ce plan.

On conçoit que les cas de surfaces courbes peuvent être infiniment variés; et, comme on ne fait usage que des miroirs concaves sphériques ou paraboliques, nous ne considérerons en particulier que ces deux formes.

Lorsque les rayons de lumière tombent sur un miroir concave sphérique, ils peuvent se trouver parallèles comme ceux du soleil, ou plus ou moins divergens.

Si l'on suppose d'abord les rayons parallèles, on trouvera que, dans le cas où l'étendue du miroir est petite relativement à la sphère dont il fait partie, les rayons réfléchis se rassemblent presque tous en un point, qu'on nomme le *foyer principal* du miroir, et qui se trouve placé

à la moitié de la longueur du rayon de la sphère dont il fait partie. Soit, par exemple (*fig.* 142), un miroir concave MM′. Si deux rayons parallèles AB et DE tombent sur sa concavité, ils se réfléchiront de manière à se réunir au point F, qui sera le foyer du miroir, et qui se trouvera situé au milieu de la ligne CC′, C étant le centre de la sphère.

Si les rayons qui tombent sur le miroir concave sont divergens, comme A′B et B′E (*fig.* 142), ils se réuniront encore au devant du miroir dans un nouveau point F′, qui sera placé d'autant plus loin du fond de ce miroir, que les rayons seront plus divergens; en sorte que s'ils partaient tous du centre C, ils y reviendraient tous : tandis que s'ils partaient du point F′, ils se réfléchiraient en convergeant au loin, suivant les lignes EA′, EB′, et qu'enfin, si ces rayons partaient du foyer F, ils se réfléchiraient dans un état de parallélisme.

Il est nécessaire de remarquer que les propriétés de la surface sphérique ne comportent la réunion des rayons réfléchis dans un seul point, que dans le cas unique où les rayons partent du centre C pour y revenir. Dans tous les autres cas, le lieu qu'on nomme foyer n'est pas exactement un point, mais un espace d'une petite étendue, dans lequel tous les rayons viennent se réunir. Si la surface du miroir faisait une grande partie de l'étendue de la sphère, l'intersection de tous les rayons réfléchis formerait une surface de révolution dont la section présente deux courbes qui se rapprochent du côté du miroir, et vont ensuite en s'écartant de plus en plus, et qu'on nomme *caustiques*.

Lorsque des rayons, partant d'un objet placé au devant d'un miroir concave et dans son axe, peuvent se réunir en un point quelconque de cet axe, on conçoit que

chaque point de l'objet doit produire son foyer particulier, et que, si l'étendue de l'objet n'est pas trop considérable relativement à celle du miroir, tous ces foyers, se trouvant à peu près dans le même plan de l'espace, y formeront une image de l'objet entier, que l'on pourra recevoir sur un plan opaque ou sur un verre dépoli. On peut constater la réalité de cet effet avec une lumière que l'on présente à différentes distances d'un miroir concave. Cette image tracée dans l'espace sera nécessairement renversée, car elle ne se forme qu'un peu après l'intersection des rayons convergens.

Indépendamment des images réelles que les miroirs concaves peuvent produire au devant d'eux, et que l'on peut regarder d'une distance convenable, comme on regarderait l'objet même, on peut en apercevoir directement avec l'œil, avant qu'elle se soit réellement formée. Si, par exemple (*fig.* 142), on fait parvenir dans l'œil des rayons qui convergent dans la direction BA′ et EB′, en les saisissant avant leur point de convergence, on apercevra dans le miroir une image qui paraîtra d'une très-grande étendue, par la raison même de la convergence de ces rayons, qui fera juger considérable l'angle que sous-tend l'objet par rapport à l'œil. Ces notions suffisent pour expliquer tous les effets des miroirs concaves. Nous en citerons un seul exemple : Le télescope d'Herschell est un vaste tuyau qui se dirige à volonté vers toutes les parties du ciel; son fond est garni d'un grand miroir concave, légèrement incliné sur son axe, et qui produit l'image d'une étoile vers le bord de son ouverture. L'observateur regarde cette image avec un microscope, qui la grossit à volonté, et la présence de la tête d'un homme dans cette ouverture très-large n'intercepte pas sensiblement les rayons incidens.

Les miroirs concaves sphériques sont les seuls que l'on puisse construire avec une exactitude rigoureuse, parce qu'il est possible de les frotter en tournant dans tous les sens sur la surface convexe qui sert à les préparer; cependant on exécute aussi, quoiqu'avec moins de perfection, des miroirs paraboliques et hyperboliques.

Le miroir parabolique est employé pour transmettre à de grandes distances, et avec le moins de déperdition possible, la lumière d'un phare qui se trouve placé à son foyer; car c'est une propriété de la parabole, que tous les rayons partant du foyer soient réfléchis parallèlement à l'axe de la courbe.

Les miroirs hyperboliques, beaucoup moins employés, réfléchissent les rayons qui partent de leur foyer avec une divergence déterminée. Ils sont propres à répandre uniformément la lumière sur un grand espace.

MIROIRS CONVEXES.

368. Les miroirs convexes ont la propriété de rendre toujours divergens les rayons qui tombent parallèles sur leur surface, ou d'augmenter la divergence de ceux qui divergent déjà. Il faut leur appliquer ce que nous avons dit des miroirs concaves, relativement à l'irrégularité des images et à la formation des caustiques, lorsque leur diamètre est considérable.

Le foyer des miroirs convexes ne saurait être au devant de leur surface, puisqu'ils rendent toujours les rayons divergens; mais il existe derrière eux un point où viendraient se réunir les rayons réfléchis, s'ils étaient prolongés à travers le miroir; et c'est ce lieu, qu'on nomme leur foyer, qui est par conséquent *virtuel*, aussi bien que les

images que ces rayons pourraient former. Soit, par exemple (*fig.* 143), le miroir convexe MM'. Si deux rayons parallèles AB, DE, tombent à sa surface, ils seront réfléchis suivant BA', ED'; mais si ces rayons réfléchis étaient prolongés à travers le miroir, ils se rencontreraient au point F, qui est le foyer principal du miroir, et qui est situé au milieu du rayon de sa sphère.

On conçoit que les miroirs convexes ne fournissent jamais d'images réelles que l'on puisse regarder comme on ferait d'un objet véritable. Mais les rayons divergens qui partent de leur surface peuvent pénétrer dans l'œil et y retracer un objet placé au devant du miroir convexe. Cet objet paraîtra alors situé derrière le miroir, dans le lieu où ces rayons se réuniraient, s'ils étaient prolongés. Cette image paraîtra toujours plus petite que l'objet, puisque l'état de divergence des rayons diminue l'angle que ces objets sous-tendent par rapport à l'œil.

On fait très-peu d'usage des miroirs convexes. Les peintres s'en servent quelquefois pour réduire les dimensions des objets qu'ils veulent copier; mais ils ont à corriger l'irrégularité des portions éloignées du centre du miroir.

MIROIRS COMPOSÉS.

369. Les miroirs plans ou courbes peuvent se combiner les uns avec les autres, de manière à produire des effets plus ou moins extraordinaires.

Un grand nombre de miroirs plans inclinés les uns aux autres, suivant la forme d'une surface sphérique concave, peuvent présenter à la personne qui s'y regarde autant de fois son image qu'il y a de miroirs plans, ou peuvent, si une lumière est placée au milieu de ce polyèdre, pré-

senter au loin la même multiplication de cette flamme. On dit qu'Archimède réussit à embraser une flotte ennemie, et l'on suppose que ce fut à l'aide d'un grand nombre de miroirs plans réfléchissant tous l'image du soleil sur un même point.

Des miroirs plans réunis sous la forme d'une pyramide ou d'un prisme, peuvent rassembler à l'égard de l'œil placé au dessus ou au devant d'eux, des portions d'images éparses sur différens points d'un plan horizontal, de manière à former une image régulière de ces différentes portions.

On peut réunir les formes droites et courbes dans un même miroir qui présenterait, par exemple, la forme d'un demi-cylindre concave ou convexe; dans le cas de la convexité, la figure a ses dimensions ordinaires dans le sens de la longueur du cylindre; et elle est considérablement diminuée dans le sens de sa courbure, tandis qu'elle est fortement agrandie dans le demi-cylindre concave.

RÉFLEXION A LA SURFACE DES CORPS NON POLIS.

370. En examinant avec attention les effets produits par un miroir plan, on s'aperçoit que ce miroir n'est pas un corps visible; car, comme il réfléchit toujours les rayons qui lui viennent des autres corps, sans déranger leur ordre primitif, on voit toujours l'image des objets extérieurs et jamais celle du miroir lui-même. Si, par exemple, un côté d'une chambre était formé tout entier d'une glace très-pure, la chambre paraîtrait double, sans qu'on pût s'apercevoir de l'existence du miroir. Ces illusions sont trop fréquemment employées dans les décora-

tions intérieures, pour ne pas être connues de tout le monde.

Il résulte de cette considération que les objets visibles doivent présenter un mode de réflexion de la lumière absolument différent de la réflexion sur les miroirs, et que la condition essentielle de la visibilité doit être de ne pas présenter les images des objets extérieurs. Cette condition est en effet remplie par la dispersion de la lumière à la surface des corps visibles.

Un corps dont la surface est assez inégale pour ne pas constituer miroir, présente une multitude de saillies et d'enfoncemens dont les formes et les directions sont infiniment variées. Si cette surface, représentée par la ligne AB (*fig.* 144), reçoit un faisceau de lumière incidente parti du point C, on conçoit que chacun des rayons de ce faisceau sera réfléchi en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence; mais comme chaque point de la surface présentera une obliquité diverse relativement au rayon incident, ces rayons seront irrégulièrement réfléchis dans toutes sortes de directions. En sorte que l'on pourra, en faisant abstraction de la lumière incidente, considérer la surface comme rayonnant de la lumière dans tous les sens à la fois, à la manière que nous avons indiquée pour les corps lumineux par eux-mêmes. Il est évident qu'il n'y aura pas d'image extérieure reproduite, puisque l'ordre d'incidence des rayons est complètement interverti. Il n'est pas moins certain que l'œil placé dans l'espace au devant de cette surface, pourra recevoir un des nombreux rayons parti de chacun des points de cette surface, et que par conséquent il pourra s'en former dans l'œil une image exacte.

Les corps visibles réfléchissent des quantités de lumière très-variables, suivant leur couleur. Les corps

blancs réfléchissent le maximum de lumière, et les corps noirs le minimum, ainsi que nous le dirons en parlant des couleurs.

La dispersion de la lumière à la surface des corps est la cause de l'illumination générale des corps de la nature, qui ne reçoivent pourtant de la lumière directe du soleil que par un de leurs côtés. Sans cette dispersion, tout ce qui n'est pas exposé directement aux rayons solaires serait dans une obscurité profonde. C'est ce qui arriverait, par exemple, dans l'intérieur de nos appartemens.

Cet avantage de la dispersion de la lumière est tellement prononcé, que l'on obtient une plus forte illumination dans l'intérieur d'une vaste salle ou d'une galerie, en dépolissant les vitres des croisées qu'en leur conservant leur transparence. C'est ainsi qu'un ciel couvert de nuages éclaire uniformément toutes les parties des objets terrestres, pendant que, sous un ciel pur, la lumière directe du soleil produit des ombres très-prononcées.

CHAPITRE III.

DE LA LUMIÈRE RÉFRACTÉE, OU DIOPTRIQUE.

371. Nous avons établi que les différens corps de la nature se distinguaient, par rapport à la lumière, en corps opaques, qui la réfléchissaient régulièrement ou irrégulièrement, et en corps transparens qui la laissaient passer à travers leur substance. Ces derniers sont ordinairement désignés, en optique, sous le nom de *milieux*. Nous ne recevons en général la lumière qu'à travers un

milieu formé par l'air atmosphérique qui nous entoure; de là cette lumière peut pénétrer dans d'autres gaz, dans des liquides, ou même dans des corps solides transparens. Dans ces passages successifs d'un milieu dans un autre, la lumière éprouve des modifications très-considérables, surtout quant à sa direction; et ces modifications prennent le nom de *réfraction*.

Les phénomènes de réfraction étant assez compliqués, il est nécessaire de les considérer d'abord dans des cas très-simples, afin de s'élever ensuite à l'intelligence des cas plus complexes, et d'arriver aux lois générales.

LOIS DE LA RÉFRACTION.

372. Si l'on suppose (*fig.* 145) une masse transparente ABDC, dont les faces opposées soient parallèles; si l'on admet que la densité de cette masse soit plus grande que celle de l'air atmosphérique, ce milieu sera susceptible d'exercer des influences sur les rayons lumineux qui viendront à le traverser.

Si le rayon GI est perpendiculaire à la surface du milieu, il le traversera sans éprouver aucun changement de direction. Si le rayon est oblique, par exemple dans la direction HI, sa direction sera changée au point I, et elle se rapprochera de la perpendiculaire PI. Parvenu au point I′, la direction sera changée de nouveau dans le sens inverse, et d'une quantité précisément égale; en sorte que le rayon sortant du milieu, et qui prend le nom de rayon émergent, parcourra la direction I′R, parallèle à sa première direction HL. C'est ce phénomène qui porte le nom de *réfraction linéaire* de la lumière, pour le distinguer d'une autre circonstance qui l'accompagne presque

toujours, et consiste dans la séparation de la lumière blanche en différens rayons colorés et dont nous nous occuperons plus tard.

La réfraction de la lumière est soumise à des lois que nous allons exposer.

1°. La lumière est toujours réfractée en s'approchant de la perpendiculaire, lorsqu'elle passe d'un milieu moins dense dans un milieu plus dense, sauf un très-petit nombre d'exceptions qui dépendent de la combustibilité.

2°. La lumière est toujours réfractée en s'éloignant de la perpendiculaire, lorsqu'elle passe d'un milieu plus dense dans un milieu moins dense, sauf les mêmes exceptions.

La quantité de la réfraction, ou la valeur de l'angle dont le rayon lumineux s'approche ou s'éloigne de la perpendiculaire, est soumise à plusieurs influences.

1°. L'obliquité du rayon incident étant déterminée, il se rapprochera de la perpendiculaire en passant d'un milieu dans un autre, en raison du rapport de densité des deux milieux; en sorte que la lumière, traversant habituellement l'air atmosphérique, sera rapprochée de la perpendiculaire, lorsqu'elle pénétrera dans un autre milieu, en proportion de la densité de cette nouvelle substance.

2°. La nature chimique du milieu influera aussi sur la quantité de la réfractation produite, à densité égale; en sorte que les substances combustibles, ou dans la composition desquelles il entre des corps combustibles, réfracteront la lumière plus fortement que ne l'indiqueraient leurs densités. Newton avait prévu par cette observation générale, et d'après les facultés réfringentes de l'eau et du diamant, que ces corps devaient contenir quelque chose de combustible. On a même trouvé récemment que les forces réfringentes des corps composés étaient à

peu près dans la proportion de leurs principes constituans.

On a reconnu et établi des rapports exacts entre différentes substances par rapport à leurs forces réfringentes, et on les exprime par les rapports des sinus des angles de réfraction; ce qui exige d'entendre clairement ce que l'on désigne dans ce cas par angle d'incidence et angle de réfraction. AB (*fig.* 146) étant la surface d'un milieu réfringent, GI un rayon oblique tombant sur cette surface, IH le prolongement de cette direction, et IK la direction que prendra le rayon après la réfraction : si l'on mène par le point d'incidence I une perpendiculaire PP′, l'angle GPI que forme le rayon incident avec la perpendiculaire, se nommera l'angle d'incidence, et l'angle P′IK se nommera l'angle de réfraction. Si l'on prolonge la direction KI, et que du point I, comme centre, on décrive une demi-circonférence, en menant sur la droite PI les perpendiculaires K′*a* et G*b*, la première de ces lignes sera le *sinus* de l'angle de réfraction, et la seconde le *sinus* de l'angle d'incidence.

Cela posé, on dit que la valeur de l'angle de réfraction, ou ce qui est la même chose, du *sinus* K′*a*, est variable pour les différentes substances, suivant leur densité et leur combustibilité, sous la même incidence. On remarque en outre que, pour la même substance, la valeur de l'angle de réfraction ou de son sinus s'accroît à mesure que l'angle d'incidence devient plus grand, c'est-à-dire que le rayon tombe plus obliquement à la surface du milieu réfringent. Mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que *le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction reste toujours le même pour une même susbstance, quel que soit le degré d'obliquité;* en sorte que si dans une des situations du rayon incident on avait trouvé que le sinus

de réfraction fût la moitié du sinus d'incidence, cela serait vrai pour toutes les positions possibles de ce rayon.

On a déterminé, pour un certain nombre de substances, ou pour le passage de la lumière de certains milieux dans certains autres, le rapport constant du sinus d'incidence avec le sinus de réfraction. Ainsi, pour le passage d'un rayon de l'air dans l'eau, ce rapport est de 4 à 3; pour le passage de l'air dans le verre, il est de 3 à 2; pour le passage du verre dans l'eau, il est de 9 à 8, etc. C'est ce qu'on nomme *indices de réfraction.*

On conçoit facilement que les mêmes rapports subsistent dans un ordre inverse, lorsque le rayon passe du milieu le plus dense dans le milieu le moins dense.

373. Les phénomènes de réfraction dont nous venons de déterminer les lois, sont toujours accompagnés de phénomènes de réflexions simultanées. Ainsi le rayon HI (*fig.* 145) ne pénètre pas tout entier dans le milieu réfringent, une portion de la lumière sera réfléchie au point I, suivant la loi commune; et cette quantité sera d'autant plus considérable, que le rayon incident sera plus oblique à la surface transparente. On peut attribuer ce phénomène à ce que la transparence elle-même n'est pas plus absolue dans les corps qui en jouissent, que l'opacité ne l'est dans les corps non transparens. On sait, en effet, qu'il suffit de rendre un corps opaque assez mince pour le rendre perméable à la lumière.

Il existe une autre circonstance de réflexion qui survient lorsqu'un rayon passe d'un milieu moins réfringent dans un milieu plus réfringent. Cette réflexion a lieu sur le plan commun des deux milieux. Elle arrive dans les limites que nous allons indiquer.

Lorsque la lumière passe d'un milieu moins réfringent dans un milieu plus réfringent, l'angle d'incidence est

toujours plus grand que l'angle de réfraction; mais l'inverse arrive lorsque le rayon passe d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent. Or, dans ce dernier cas, il est évident que l'angle de réfraction pourra devenir 90°; qu'alors son sinus sera un maximum, et que pourtant l'angle d'incidence n'aura point acquis 90°, puisqu'il est toujours plus petit. Il y aura une différence qui dépendra du rapport constant des sinus d'incidence et de réfraction. Si pourtant l'angle d'incidence s'accroît encore au delà de cette limite, et jusqu'à ce que le rayon devienne parallèle à la surface même, dans tout cet intervalle il sera réfléchi au dedans du milieu le plus réfringent, au lieu d'en sortir. Ce phénomène se présente à tout moment dans l'intérieur des masses de cristal qui servent aux expériences d'optique.

374. On a cherché à se rendre compte des causes qui peuvent déterminer l'inflexion de la lumière, lorsqu'elle passe d'un milieu dans un autre, ou d'un espace vide dans un milieu quelconque. Les partisans de l'émission en donnent, depuis Newton, l'explication suivante. Lorsqu'un rayon GI (*fig.* 147) s'approche obliquement de la surface AB d'un milieu réfringent, cette masse de matière doit exercer sur les particules de la lumière en mouvement, une certaine attraction. Cette attraction serait égale dans tous les sens, si le rayon était perpendiculaire à la surface, et sa direction n'en serait point altérée. Mais si cette direction est oblique, les attractions exercées par la portion IB sont plus puissantes que celles de la portion AI, à cause de leurs plus petites distances. En consquence, lorsque le rayon sera parvenu assez près de la surface AB, les molécules de lumière, qui marchaient en ligne droite, seront sollicitées par une nouvelle puissance, qui leur fera parcourir une courbe de la nature des trajectoires, jus-

qu'à ce qu'elle soit venue toucher la surface AB. Aussitôt qu'elles auront pénétré dans le milieu réfringent; toutes les attractions environnantes deviendront égales, la lumière pourra de nouveau se mouvoir en ligne droite, mais suivant une tangente à l'extrémité de la petite courbe, laquelle tangente formera, avec la direction première, un angle d'autant plus prononcé que les forces d'attraction auront eu plus d'empire, ou le milieu plus de puissance réfringente.

Les mêmes effets se reproduiront au point I′, et ne permettront au rayon de reprendre sa marche rectiligne qu'après avoir subi les effets de l'attraction de la portion CI′, en décrivant une petite courbe précisément semblable à celle de l'immergence, et dont la nouvelle direction sera aussi la tangente.

Cette explication répond à tous les cas de réfraction, et rend particulièrement compte de la réflexion qui survient à certain degré d'incidence, quand le rayon passe, d'un milieu plus réfringent, dans un autre qui l'est beaucoup moins.

375. Le phénomène simple de la réfraction de la lumière, en passant d'un milieu dans un autre, donne lieu à des effets très-remarquables et qui se rencontrent habituellement. Nous nous contenterons d'exposer les trois suivans, qui peuvent faire concevoir tous les autres.

Si l'on prend (*fig.* 148) un vase profond, et qu'on place au point R un petit corps, tel qu'une pièce de monnaie, l'œil étant situé au point O, on n'apercevra pas cette pièce de monnaie, parce que ses rayons directs seront interceptés par la paroi; mais si l'on vient à remplir le vase d'une certaine quantité d'eau, la pièce deviendra visible, et elle paraîtra plus élevée qu'elle n'est réellement. En effet, le rayon RI sera réfracté au point I, en s'éloignant de la perpendiculaire, et parviendra jusqu'à l'œil,

qui rapportera le lieu de l'objet dans la direction du rayon O I, et à une distance égale à O I + I R, c'est-à-dire au point R'. Nous ferons seulement remarquer que les différens rayons qui composent l'image de l'objet, n'étant pas tous également distans de la surface, et n'ayant pas le même degré d'inclinaison, il se formera, dans l'intérieur du liquide et par l'entre-croisement des directions de tous les rayons réfractés, une courbe du même genre que celle des miroirs concaves, et que l'on nomme *caustique par réfraction*.

L'effet que nous venons de décrire, en s'appliquant à un corps d'une certaine étendue, en diminue considérablement les dimensions apparentes dans le sens vertical, ce qui altère ses formes. Cet effet dépend de ce que les rayons provenant des parties situées profondément, sont plus fortement réfractés que ceux des points placés près de la surface.

Supposant, par exemple (*fig.* 148), une ligne verticale *a b* immergée dans un liquide et vue du point O : le rayon parti du point *a* sortira du liquide au point *i'* et se dirigera vers l'œil; le rayon parti du point *b* sortira du liquide au point *i* pour se rendre au même lieu. Mais l'œil rapportera l'existence de l'objet dans le prolongement des rayons O *i'* et O *i*, c'est-à-dire en *a' b'*; on voit que la dimension de la ligne sera diminuée, en même temps que l'image paraîtra plus élevée. Cette image paraîtra aussi plus petite, parce qu'elle sous-tendra un angle visuel plus petit.

Des effets du même ordre se produisant sur tous les points immergés d'un bâton plongé obliquement dans l'eau, font paraître ce bâton brisé au niveau de la surface.

On observe quelquefois en mer, et on a particulièrement observé en Égypte, un phénomène connu sous le

nom de *mirage*, qui paraît être dû à des causes analogues. Dans les plaines de sable profondément échauffées par un soleil brûlant, l'atmosphère rafraîchie pendant la nuit, et se trouvant au commencement du jour fortement échauffée dans la petite couche qui est en contact avec le sable, il en résulte en quelque sorte deux milieux réfringens différens : l'air frais de l'atmosphère, qui est plus dense et plus réfringent, et l'air en contact avec le sol, qui est moins dense et moins réfringent. Si nous représentons par TT (*fig.* 149), la surface du terrain, par *aa* la couche d'air échauffé, par A le sommet d'un arbre, et par O la situation d'un spectateur placé à une très-grande distance de l'arbre, nous concevrons que cet arbre pourra être vu directement et dans sa position naturelle par le spectateur placé en O; mais qu'en outre, un rayon parti du point A pour se porter très-obliquement vers le sol, pourra rencontrer au point I, la surface de contact des deux milieux aériformes dont nous avons parlé, et se trouver réfléchi par cette surface dans la direction IO (343), de manière à ce que l'œil, frappé de ce rayon, rapporte l'existence du point A dans sa direction, c'est-à-dire en A′. Et comme on peut en dire autant de tous les points de l'arbre, il est évident que l'œil pourra apercevoir non-seulement l'arbre lui-même dans sa position verticale, mais encore une image renversée de cet arbre, et telle qu'en produisent les objets placés au bord d'une eau tranquille. C'est en effet ce qu'on observe, en sorte que les plantations et les villages très-éloignés paraissent situés dans une île et environnés d'une grande surface liquide. Un effet analogue s'observe en mer pour les vaisseaux, ou pour les astres qui se lèvent à l'horizon; mais il ne dure ordinairement qu'un instant.

DES EFFETS DU PRISME.

376. Nous avons vu (372) qu'un rayon lumineux qui passe obliquement dans un milieu réfringent dont les deux surfaces sont parallèles, éprouve, en entrant et en sortant, deux réfractions opposées qui lui conservent sa direction première, en le déplaçant seulement dans l'espace parallèlement à lui-même. Il n'en est pas de même lorsque les surfaces du milieu réfringent présentent certaines obliquités, comme cela arrive entre deux faces contiguës d'un prisme triangulaire. Supposons, par exemple (*fig.* 150), que le triangle A B C soit la coupe d'un semblable prisme de cristal. Si le rayon G I tombe obliquement sur la face A B, ce rayon devra être réfracté au point I en s'approchant de la perpendiculaire I N, et prendra par conséquent la direction I I′; arrivé au point I′, il devra être réfracté de nouveau, mais en s'éloignant de la perpendiculaire. Cette perpendiculaire est alors I′ N′, et le rayon se portera par conséquent dans la direction I′ G′. On voit que dans ce cas, au lieu de se compenser comme dans la circonstance des deux surfaces parallèles, les inflexions du rayon s'ajoutent pour changer sa direction. Et l'on conçoit qu'indépendamment des rapports des sinus d'incidence et de réfraction, l'intensité des effets s'accroîtra avec l'angle A du prisme. On voit aussi que le *rayon émergent est toujours rapproché du côté de la base du triangle, ou de ce qu'on nomme la tête du prisme.*

Les prismes de cristal, dont on fait si souvent usage en optique, peuvent présenter, dans leur intérieur, des phénomènes de réflexion dont on a tiré un parti remarquable dans un petit instrument nommé *camera lucida.*

Cet instrument a pour objet de porter dans l'œil les images des objets situés au loin dans une direction horizontale, de manière que l'œil puisse les rapporter sur un plan et voir en même temps l'extrémité d'un crayon qui en dessine les contours. Il est formé d'un prisme A B C D (*fig.* 151) dont l'angle A est droit, et dont les côtés B C, C D, forment un angle obtus. Ce prisme étant fixé au dessus d'un plan horizontal PP, et l'œil placé verticalement au dessus de l'angle D, les objets éloignés enverront des rayons suivant la direction G I, qui, à cause de leur grande obliquité, seront réfléchis au dedans du prisme par la face B C, portés ensuite sur la face C D, où ils seront encore réfléchis en I′, pour parvenir enfin dans l'œil et y former une image, qui sera rapportée au point G′ sur une feuille de papier. Mais si le point I′ est très-près de l'angle D, l'œil pourra voir directement l'extrémité G′ d'un rayon, tout en apercevant encore l'image dont ce crayon, dirigé par la main de l'observateur, suit les contours.

Les prismes produisent encore sur la lumière un genre d'effet d'une grande importance, en la décomposant en plusieurs couleurs. Nous ne traiterons de ce phénomène que dans un des chapitres suivans.

DES VERRES CONVEXES OU LENTILLES.

377. Les milieux réfringens terminés par des surfaces courbes produisent sur la lumière des effets très-variés suivant la nature et les dispositions de la surface courbe. Nous considérerons d'abord ce qui se passe lorsque les surfaces sont sphériques convexes. On construit pour les usages de l'optique des verres ainsi terminés, qui prennent

le nom de *verres convexes*, ou en général de *lentilles*. Il sera très-facile d'en concevoir les effets en leur appliquant ce que nous avons dit du prisme. Supposons, en effet (*fig.* 152), deux prismes opposés base à base, et deux rayons parallèles GI, G'I', tombant sur les faces de ces prismes; ils seront tous deux réfractés en sens opposé, et viendront se réunir derrière les prismes en un point F, situé dans le prolongement des bases des deux triangles.

Si nous supposons maintenant que chacun des triangles décrive une demi-révolution autour de sa base, il en résultera deux cônes obtus opposés base à base; et dans quelque point des cercles décrits par les points I et I' que tombent des rayons, ils viendront également se réunir au point F.

Si nous examinons (*fig.* 153) une lentille terminée par deux portions de sphère, nous pourrons considérer leur courbe comme formée d'un grand nombre de petites lignes droites, et leur surface comme composée d'un grand nombre de petits plans présentant toute sorte d'obliquité, mais parfaitement symétriques autour de l'axe AB. Par conséquent si deux rayons parallèles GI, GI', viennent à tomber sur une des faces de cette lentille, ils se réuniront derrière elle et sur son axe en un point F. On peut en dire autant de tous les rayons qui frapperont cette surface. Il y aura donc derrière la lentille un point commun de réunion que l'on nommera *foyer* de la lentille. Pour une même lentille, ce foyer sera diversement situé suivant le parallélisme, la convergence ou la divergence des rayons incidens. On nomme *foyer principal* celui qui est formé par des rayons parallèles.

La courbure que présente la surface d'une lentille amène nécessairement des différences d'incidence pour les rayons qui tombent à différentes distances de l'axe, en

sorte qu'il se forme, au delà de la lentille et autour de l'axe, des caustiques par réfraction, et qu'il n'y a par conséquent point de foyer unique; néanmoins en employant des surfaces d'une petite étendue et d'une faible courbure, le foyer peut être considéré comme absolu.

Si un objet quelconque est placé d'un côté d'une semblable lentille, on peut voir (*fig.* 154) que le point central I de cet objet enverra sur la lentille un cône de rayons qui seront réfractés de manière à se réunir derrière la lentille au point I′ et dans l'axe du verre; que l'extrémité supérieure H enverra de même un cône de lumière dont l'axe croisera celui de la lentille, et dont les rayons se réuniront en H′; que l'extrémité inférieure G de l'objet enverra un semblable cône qui se rassemblera en G′; et comme on peut en dire autant de tous les points de la surface d'un objet quelconque, il en résulte qu'il se formera derrière la lentille une image renversée des objets placés au devant d'elle, laquelle image pourra être plus grande ou plus petite que l'objet, suivant sa position.

Si l'on suppose (*fig.* 155) l'œil placé derrière la lentille et regardant au travers un objet quelconque, on conçoit que, les rayons partis de l'objet étant rendus convergens par l'action de la lentille, l'objet paraîtra plus grand, et que les extrémités H et G d'une flèche, par exemple, seront rapportées en H′ et G′.

Il est presque superflu de remarquer que, si une lentille était plane d'un côté et convexe de l'autre, ses effets seraient les mêmes, sauf leur intensité, qui se trouverait réduite à moitié.

DES VERRES CONCAVES.

378. Les effets des verres concaves peuvent être com-

pris avec la plus grande facilité, en les considérant comme des prismes circulaires opposés par leur sommet, au lieu de l'être par leur base, comme dans les verres convexes. Ces sortes de verres produisent toujours la divergence des rayons, ou du moins diminuent leur convergence. Soient (*fig.* 156) deux rayons parallèles GI, HI, tombant sur un verre concave; ils divergeront, après avoir traversé le verre, dans les directions IG′, IH′. Si ces rayons G″I, H″I, tombent en convergeant sur le verre concave, ils pourront devenir parallèles, suivant IG‴, IH‴.

Il en résulte qu'il ne peut jamais y avoir de foyer réel pour un verre concave. On obtient son foyer *virtuel* en prolongeant jusqu'au point C les rayons IH′, IG′, qui proviennent des rayons parallèles rendus divergens.

Si les verres concaves ne sont pas susceptibles de former de foyer, ce qui semble les rendre inutiles à l'existence des images, ils sont fort employés pour modifier la trop grande convergence des rayons qui pénètrent dans l'œil. On conçoit, du reste, qu'employés seuls ils font apercevoir les objets plus petits, puisqu'ils diminuent la convergence des rayons, et par conséquent l'angle visuel.

CHAPITRE IV.

DÉCOMPOSITION DE LA LUMIÈRE.

379. Nous avons observé la marche d'un rayon lumineux en passant à travers des milieux réfringens; nous avons remarqué que l'angle d'un prisme avait la propriété

d'ajouter l'un à l'autre les deux changemens de direction que la lumière éprouve en entrant dans un milieu plus réfringent, et en sortant; mais nous n'avons considéré que le seul fait du changement de direction, ou ce qu'on nomme la réfraction linéaire. Il survient cependant alors un autre phénomène très-remarquable, et qui produit une véritable analyse de la lumière.

Si, après avoir laissé pénétrer un rayon solaire dans une chambre obscure, on le réfracte par l'angle d'un prisme (*fig.* 157), au lieu d'obtenir une surface blanche et circulaire, semblable à celle que produit le rayon direct en frappant la paroi de la chambre, on obtient une image qui a le même diamètre transversal, mais qui est fort allongée dans le sens de la réfraction; et cette image est vivement colorée de toutes sortes de nuances, depuis le rouge jusqu'au violet. On lui donne le nom de *spectre solaire.*

Si l'on présente au spectre solaire, à une certaine distance du prisme, une planchette (*fig.* 158) percée de sept trous, à des distances convenables les uns des autres, on obtient derrière ce diaphragme sept images circulaires, présentant le *rouge*, l'*orangé*, le *jaune*, le *vert*, le *bleu*, l'*indigo* et le *violet.* Il est évident que ces sept couleurs ne sont pas également réfrangibles, puisque les unes et les autres ont été inégalement dérangées dans leur direction par l'action du prisme. Le rouge est le moins réfrangible de tous ces rayons, et le violet est le plus réfrangible.

Le rapport de la réfrangibilité relative de chaque rayon peut être apprécié par les écartemens divers qu'il faut mettre entre les trous dont nous avons parlé pour obtenir des couleurs pures. Et l'on remarque que ces intervalles sont, pour le verre, dans les mêmes rapports que

les différentes longueurs d'une corde qui donneraient la gamme mineure.

Les sept couleurs du prisme sont évidemment les parties composantes de la lumière blanche; car, 1° si on les fait converger toutes sur une même surface au moyen de sept miroirs, on reforme du blanc; 2° si l'on réunit d'un côté trois de ces rayons, et de l'autre côté les quatre autres, on obtient deux nuances qui sont évidemment complémentaires l'une de l'autre, et qui produisent le blanc par leur réunion.

Chacune des couleurs du prisme est bien véritablement une couleur simple; car en soumettant chacun de ces rayons à part à l'action d'un nouveau prisme, on ne réussit plus à le décomposer. Néanmoins, quelques-unes de ces couleurs peuvent êtres produites artificiellement par la réunion de deux autres. C'est ainsi que le jaune et le bleu donnent du vert, le rouge et le jaune de l'orangé, le bleu et le violet de l'indigo; en sorte que quelques physiciens n'ont voulu reconnaître que trois couleurs primitives, le rouge, le jaune et le bleu. Mais il n'y a aucune objection à faire à l'expérience d'analyse que nous venons de citer, qui appartient à Newton; et l'on conçoit du reste aisément comment la réunion de deux couleurs voisines peut *imiter* la couleur intermédiaire.

Les rayons lumineux que l'on essaie de décomposer par le prisme, ne fournissent pas toujours la totalité des couleurs du prisme. Il faut pour cela qu'ils soient composés d'une lumière parfaitement blanche. Ainsi le soleil, à son lever ou à son coucher, ou une lumière artificielle, ne donnent jamais un spectre complet.

Il résulte, de la propriété du prisme que nous venons d'indiquer, que les objets vus à travers un prisme paraissent non seulement déplacés, mais colorés, surtout en

rouge et en violet, à leurs bords; et qu'il en arrive autant, soit aux objets que l'on regarde à travers une lentille, soit aux images que cette lentille projette sur un plan. Cette circonstance porte le nom d'*aberration de réfrangibilité*, tandis que l'irrégularité linéaire des figures dépendante des divers degrés d'obliquité des rayons, se nomme *aberration de sphéricité*.

DE L'ACHROMATISME.

380. Newton croyait que la faculté d'écarter les rayons colorés les uns des autres était, dans les milieux réfringens, proportionnelle à leur force réfringente; mais Dollond, opticien anglais, a découvert que ces deux propriétés n'étaient pas liées régulièrement entre elles, et qu'un corps pouvait réfracter moins qu'un autre et disperser davantage; ce qui lui a fourni le moyen de conserver dans un prisme ou dans un verre composé la faculté de réfracter, en détruisant celle de disperser la lumière. C'est cet heureux résultat que l'on nomme *achromatisme*, ou privation de couleur, parce qu'à l'aide de certaines combinaisons on prépare des lentilles qui donnent des images blanches, ou du moins qui conservent la couleur naturelle des objets.

Si l'on suppose (*fig.* 159) un parallélipipède formé de deux prismes, ABC et DBC, et qu'on admette que ces deux prismes aient les mêmes pouvoirs réfringens et dispersifs, il est évident que, si le premier prisme DBC réfracte et disperse le rayon GI, le second prisme produira des effets inverses, c'est-à-dire que le rayon ressortira blanc au point I', et se dirigera suivant la ligne I'G', qui sera parallèle à sa direction première; mais si le second

prisme ABC a une force réfringente plus grande, avec le même pouvoir de dispersion, le rayon pourra sortir blanc en I″, mais se diriger suivant I″G″, qui fait un angle avec sa direction première.

En appliquant ces principes à une lentille composée de diverses substances (*fig.* 160), il pourra arriver que, le rayon GH tombant sur un verre biconvexe d'une des deux substances, le rayon rouge parvienne en K et le rayon violet en I; que ces rayons, réfractés par le second verre qui est concave, parviennent le premier en N, et le second en L, et qu'enfin, rapprochés de la perpendiculaire en sortant du verre, ils se réunissent en F à son foyer; ce qui produira une image sensiblement blanche. Nous disons sensiblement, parce qu'on peut calculer et produire cette coïncidence pour les rayons extrêmes, mais non pas aussi bien pour les intermédiaires, attendu que la propriété dispersive des corps réfringens varie pour chaque rayon.

Les deux substances qui servent à composer les verres achromatiques sont le verre ordinaire sans plomb ou le *flint-glass* des Anglais, et le verre contenant beaucoup d'oxide de plomb, ou le cristal que les Anglais nomment *crown-glass*.

381. Les corps solides, les liquides et même les fluides élastiques prennent les couleurs du prisme lorsqu'ils sont réduits en lames minces. Les lames de mica en offrent un exemple aussi bien que celles du sulfate de chaux; mais Newton a remarqué que, en posant un verre faiblement convexe sur une surface plane, l'air contenu entre les deux corps, ou l'eau qu'on y introduit, donnent lieu à des anneaux colorés diversement; il a vu que ces anneaux étaient placés à de telles distances les uns des autres que les épaisseurs qui laissaient passer la lumière étaient suivant

les nombres 1, 3, 5, 7, tandis que les épaisseurs qui la réfléchissaient étaient comme les nombres 0, 2, 4, 6; d'où il a conclu ce que l'on connaît sous le nom d'*accès de facile transmission ;* il en a déduit une explication de la coloration des corps, et des règles tellement sûres que l'on peut déterminer l'épaisseur d'une lame par la couleur qu'elle réfléchit.

DE L'ARC-EN-CIEL.

381 (*bis*). Lorsque les rayons du soleil traversent un espace dans lequel il tombe actuellement de la pluie, il arrive souvent qu'un observateur convenablement placé aperçoit dans cet espace une bande lumineuse nuancée des couleurs du prisme. Quelquefois même on voit à quelque distance de la première une ou deux autres bandes moins lumineuses, mais dont les couleurs sont dans un autre ordre. On donne à ces phénomènes le nom d'arcs-en ciel solaires, et l'on peut en observer de beaucoup moins prononcés qui sont produits par la lune.

On se rend compte de ces effets avec beaucoup d'exactitude, en analysant la marche des rayons solaires dans un des globules d'eau dont la pluie est formée. Nous nous contenterons de donner une idée générale de cette explication.

Supposant donc dans l'espace un globule sphérique II'I''P, considérant un rayon GI arrivant obliquement à la surface du globule, il pénétrera dans son intérieur en se réfractant, et parviendra au point I', mais dans une telle obliquité que, au lieu de sortir du milieu réfringent, il sera réfléchi dans son intérieur et se portera au point I'', ou, se trouvant moins oblique à la surface du corps ré-

fringent, il en sortira en subissant une nouvelle réfraction pour se diriger ensuite suivant I″H. On conçoit que de semblables phénomènes peuvent se produire dans les globules de la pluie, lorsque le soleil, ces globules et l'œil de l'observateur sont dans des situations convenables; mais ils seraient inaperçus, si, dans les réfractions dont nous venons de parler, la lumière restait blanche. Il arrive, au contraire, que les sept rayons colorés étant inégalement réfractés, soit en entrant dans le globule, soit en en sortant, la lumière qui parvient à l'œil présente les couleurs du spectre solaire.

On démontre, d'après ces principes, que la bande colorée qui constitue l'arc-en-ciel doit présenter l'apparence d'une portion de cercle dont les extrémités semblent reposer sur l'horizon; que dans le premier arc-en-ciel, qui est toujours le plus marqué, le rouge est placé à l'extérieur et le violet à l'intérieur; que le contraire arrive dans le second, qui se trouve situé au dessus du premier; enfin, qu'il ne peut exister d'arc-en-ciel que pour un spectateur qui tourne le dos au soleil en regardant l'espace où la pluie tombe.

On rend parfaitement compte de la formation du second arc-en-ciel en admettant que, sous certaines incidences, la lumière peut être réfléchie deux fois au lieu d'une dans l'intérieur du globule; ce qui place nécessairement la seconde bande colorée dans un autre lieu de l'espace, en renversant l'ordre des bandes colorées qu'elle présente.

382. *Opacité et transparence.* Nous avons dit que les corps étaient distingués en opaques et transparens, suivant qu'ils empêchaient ou permettaient le passage de la lumière, et nous avons fait remarquer que ces propriétés n'étaient pas absolues, en sorte que le corps le plus opaque, tel qu'un métal, par exemple, laissait passer un peu de lu-

mière quand il devenait assez mince, tandis que le corps le plus transparent réfléchissait un peu de lumière; mais on a cherché à se rendre compte de ces effets, et les partisans de l'attraction ont pensé que les corps laissaient passer la lumière parce qu'ils étaient parfaitement homogènes, en sorte que leurs molécules attiraient également dans tous les sens les particules de la lumière, et en conséquence ne la dérangeaient pas de la direction rectiligne; ils ont cru au contraire que, les corps opaques n'ayant pas partout la même densité, l'attiraient inégalement et lui faisaient parcourir des sinuosités qui en détruisaient l'effet.

Plusieurs expériences viennent à l'appui de ce système. L'hydrophane est opaque quand elle contient de l'air; elle devient transparente, ou du moins translucide, quand elle est pénétrée d'eau; beaucoup d'autres corps sont dans des cas analogues; une dissolution se trouble quand par une action chimique on sépare de sa composition un corps qui devient hétérogène.

383. *Couleurs des corps.* — Les corps présentent une grande variété de couleurs depuis le noir jusqu'au blanc. On a dû chercher à se rendre compte de ces phénomènes.

Les corps noirs ont évidemment la propriété d'absorber toute la lumière ou de n'en réfléchir aucune partie; ils font l'effet d'une absence de matière et représentent très-bien un trou ou un vide. Il est difficile de dire ce que devient cette lumière dans le système de l'émission; il est possible qu'elle se change en calorique ou en un fluide intermédiaire, qui n'affecte ni nos yeux ni notre tact.

Aucun corps n'est parfaitement noir; le charbon est un des plus noirs que nous connaissions. Mais pour absorber ainsi la lumière, il faut que le corps soit poreux, comme le drap, par exemple; car un corps noir, dense

et poli, peut devenir un très-bon miroir, tout en conservant sa couleur noire.

Les corps blancs ont évidemment la propriété de réfléchir tous les rayons de la lumière; car s'ils sont blancs sous les rayons du soleil, ils sont rouges quand on n'envoie à leur surface que des rayons rouges, et ainsi pour toutes les autres couleurs.

Les corps peuvent présenter non-seulement toutes les couleurs du prisme, mais encore une foule d'autres nuances. On attribue ces effets à ce que les corps ont la propriété d'absorber toutes les couleurs du prisme, excepté une seule, qu'ils réfléchissent, ou plusieurs, qui se combinent pour produire les nuances intermédiaires. Newton expliquait ce fait en supposant, comme cela paraît être du reste démontré, que la lumière pénètre à une certaine profondeur très-petite dans l'épaisseur des corps; en sorte que cette épaisseur fait office de lame mince comme dans les anneaux colorés.

Les corps peuvent avoir une couleur quand on les voit par réflexion, et une autre par transmission; c'est ce qui arrive à beaucoup de dissolutions. Ces couleurs sont souvent complémentaires l'une de l'autre, car le corps laisse passer ce qu'il ne réfléchit pas; mais quelquefois il manque quelques nuances, qui alors paraissent être absorbées par le corps.

Les couleurs peuvent être changeantes suivant la position d'où on les regarde; c'est ce qui arrive à certaines étoffes de soie, aux plumes des oiseaux, etc. Cela tient à ce que les filamens qui composent le corps n'ont pas la même couleur sous toutes leurs faces.

Les couleurs des corps peuvent être sombres et foncées, ou claires et brillantes; cette circonstance tient à la proportion de lumière blanche qui se trouve réfléchie en

même temps que la couleur particulière : c'est ainsi que la couleur du carthame, dans sa pureté, est presque noire, tandis qu'en la mêlant avec du talc en poudre qui est d'un beau blanc, on obtient toutes les nuances, depuis le rouge le plus vif jusqu'au rose le plus pâle.

Presque tous les corps que l'on expose à une lumière vive semblent s'en pénétrer ; car, si on les porte ensuite dans l'obscurité, ils paraissent quelques instans lumineux ; d'autres corps le deviennent quand on les chauffe, comme le sulfate de barite ; enfin d'autres le sont par eux-mêmes, comme les matières en putréfaction, les verres luisans, etc. ; on les nomme *phosphores* ou *phosphorescens*.

CHAPITRE V.

DE L'ŒIL ET DE LA VISION.

384. Beaucoup d'animaux ont un ou plusieurs organes à l'aide desquels ils perçoivent des impressions produites par la lumière, et jugent ainsi, à de grandes distances, de l'existence d'un certain nombre des propriétés des corps. La structure de ces organes est extrêmement variée dans les différens genres d'animaux ; mais partout on retrouve cette disposition générale des organes des sens, qui se composent toujours d'un certain nombre de moyens destinés à modifier l'agent qui doit produire la sensation, et d'une disposition nerveuse qui doit la recevoir et la transmettre. Il n'entre pas dans notre sujet de considérer

l'organe de la vue dans cette grande généralité; nous nous contenterons d'en étudier les dispositions et les phénomènes dans l'homme; et pour cela nous commencerons par rappeler succinctement la structure de l'œil, pour étudier ensuite les conditions de la vision et ses principales modifications.

385. *Structure de l'œil.* — L'œil de l'homme est formé de membranes générales ou particulières, qui en constituent les parois ou en séparent les cavités, et d'humeurs diverses qui les remplissent. Le globe de l'œil présente, dans sa totalité, un sphéroïde, dont le diamètre antéro-postérieur est un peu plus considérable que les autres. Ce globe est placé dans une cavité osseuse qui le protége, et qui est beaucoup plus grande qu'il ne faudrait pour le contenir; car elle loge en outre un gros tronc nerveux qui pénètre dans l'intérieur de ce globe, plusieurs branches de nerfs et de vaisseaux qui lui appartiennent ou à ses accessoires; six muscles destinés à le diriger à volonté dans tous les sens; une glande qui sécrète un liquide pour lubréfier sa surface; et enfin une grande quantité de tissu cellulaire graisseux sur lequel ce globe repose: une membrane muqueuse, des voiles mobiles, qu'on nomme paupières, peuvent au besoin le défendre de l'accès de l'air et de la lumière.

Le globe de l'œil doit sa forme et sa solidité à une membrane extérieure, élastique et dense, que l'on nomme *sclérotique*. Cette membrane est percée en devant d'une ouverture circulaire d'environ cinq lignes de diamètre, laquelle présente une rainure interne dans laquelle se trouve enchâssée, à la manière d'un verre de montre, une membrane aussi très-dense et très-solide, mais qui laisse traverser la lumière, que l'on nomme, à cause de cela, *cornée transparente*: cette cornée présente un seg-

ment de sphère d'un plus petit rayon que le reste du globe, et elle figure assez bien la face antérieure d'une lentille. La sclérotique est encore percée, dans sa partie postérieure et interne, d'un trou beaucoup plus petit, qui sert de passage au nerf optique pour pénétrer dans le globe.

Au dedans de la sclérotique se trouve une membrane fortement colorée en noir, qui revêt toute sa face interne, jusqu'au voisinage de la cornée transparente, et que l'on nomme *choroïde*. Celle-ci est, comme la sclérotique, percée d'une ouverture pour le passage du nerf optique.

Au dedans de la choroïde on rencontre une membrane blanchâtre, très-déliée, étendue comme un réseau et tapissant toute la face interne de la choroïde. Elle se nomme *rétine*, et paraît être le résultat de l'épanouissement des filets mêmes qui composent le nerf.

Derrière la cornée transparente, et dans une étendue égale à la sienne, se trouve l'*iris*, membrane contractile, percée, dans son centre, d'une ouverture qu'on nomme *pupille*, et disposée de manière que l'ouverture se rétrécit dans la contraction; la face antérieure est diversement colorée, la face postérieure est noire. La sensibilité propre de cette membrane est, du reste, tellement liée à celle de la rétine, que l'irritation de celle-ci par la lumière détermine la contraction de l'autre.

A quelque distance derrière l'iris se trouve un corps solide, transparent, lenticulaire, que l'on nomme *cristallin*, qui est enveloppé dans une capsule transparente, et ainsi fixée dans sa place.

On voit, par cette description, qu'il reste entre la cornée transparente et le cristallin un espace libre, séparé en deux portions par l'iris et communiquant par la pupille.

Ces deux espaces se nomment *chambres* de l'œil. L'antérieure est la plus grande. Elles sont toutes deux remplies par l'*humeur aqueuse*, parfaitement limpide et peu différente de l'eau pure.

On voit aussi qu'il reste derrière le cristallin un très-grand espace, qui se trouve occupé par le *corps vitré*. Celui-ci est formé d'une membrane très-déliée, parfaitement transparente, et produisant, par ses feuillets multipliés, un très-grand nombre de petites cellules qui communiquent difficilement entre elles, et qui sont remplies par un liquide transparent dont la densité ne paraît pas être la même dans tous les points du corps vitré, et qui est en général un peu plus pesant que l'eau.

Si l'on considère l'appareil que nous venons de décrire sous le point de vue physique, on pourra regarder la cornée transparente, l'humeur aqueuse et le cristallin, comme une lentille composée, dont les différentes parties ont sans doute des propriétés réfringentes diverses, puisqu'elles produisent un achromatisme naturel, les images qu'elles donnent étant dépourvues de colorations accidentelles. La cavité générale de l'œil pourra être regardée comme une chambre obscure que la choroïde tapisse en noir, pour empêcher les effets de lumière étrangers à l'image, tandis que la rétine joue le rôle du spectre sur lequel les images viennent se peindre, non pas comme dans les chambres obscures, pour être vues par d'autres yeux, mais pour être senties par la rétine elle-même ; et cette sensation est transmise au cerveau par le nerf optique. Quant à l'iris, elle représente parfaitement un diaphragme destiné à limiter plus ou moins le champ de la lentille pour éviter les effets d'aberration de sphéricité, et ne laisser pénétrer dans l'œil que la quantité de lumière nécessaire pour y peindre l'objet sans blesser la rétine.

Une expérience très-simple prouve à la fois presque tous ces usages des différentes parties de l'œil. Si l'on prend un œil de bœuf, et qu'à sa partie postérieure on enlève avec soin une certaine étendue de la sclérotique, de manière à ménager l'intégrité de la rétine et à prévenir l'écoulement du corps vitré; si l'on place ensuite cet œil devant des objets éclairés, et que l'on regarde par derrière, on apercevra à travers la demi-transparence de la rétine de petites images parfaitement distinctes, sans colorations accidentelles, mais renversées.

386. *De la vision.* — D'après la description que nous venons de faire de l'appareil de la vision, et l'expérience que nous avons rapportée, il paraît évident que la condition principale de cette fonction est qu'il se forme une image nette sur la rétine. Et si l'on suppose toutes les parties de l'œil dans des rapports constans, la vision distincte exigera nécessairement que les objets soient placés à une telle distance de l'œil, que la divergence des rayons qu'ils envoient sur la pupille comporte la formation du foyer de la lentille composée, précisément à la surface de la rétine. Cette distance est en effet une condition importante, sans être pourtant aussi absolue que les principes sembleraient l'indiquer.

Pour un œil bien conformé et appartenant à un adulte, la vision distincte a lieu lorsque l'objet est placé à huit pouces du globe de l'œil. Tous les objets placés plus près sont vus confusément, parce que le foyer n'est pas encore formé à l'instant où les rayons, convergeant derrière le cristallin, rencontrent la rétine. Il n'y a dans l'œil aucun moyen d'obvier à cette difficulté, et l'œil ne saurait voir distinctement à de plus petites distances, qu'en employant des ressources artificielles.

Il n'en est pas de même pour les objets placés à une

distance plus grande que huit pouces : notre œil jouit évidemment de la faculté non seulement d'apercevoir distinctement les objets situés à de grandes distances, mais encore de voir nettement et simultanément des objets situés à des distances différentes.

Il est évident que plus les objets s'éloignent de l'œil, plus les rayons qu'ils envoient sur la pupille doivent se rapprocher du parallélisme, et qu'en conséquence le foyer de ces rayons doit se trouver formé dans l'œil avant le moment où ils rencontrent la rétine; ce qui ne devrait former sur elle qu'une image confuse.

On a cherché à expliquer cette propriété de l'œil, 1° par les variations de l'ouverture de la pupille; 2° par de prétendus déplacemens du cristallin; 3° par l'action des muscles de l'œil qui pourraient en changer la forme totale. M. Pouillet a tenté cette explication en faisant remarquer que les images nettes sont en général perçues de préférence en quelque sorte aux impressions confuses, et en tenant compte de la différence probable de la puissance de réfraction du cristallin du centre à la circonférence. Il admet, en conséquence, que la pupille contractée donne des objets éloignés une image nette, indépendamment des images vagues de certains objets plus rapprochés, et réciproquement.

On peut encore supposer que la masse de l'humeur vitrée n'est point homogène, mais que sa densité va en s'accroissant depuis la face postérieure du cristallin jusqu'au fond de l'œil. Cette supposition n'est point invraisemblable, puisque cette humeur est contenue dans des cellules séparées les unes des autres; et si cette humeur eût du être homogène, on ne verrait pas la nécessité de cette structure composée, qui d'ailleurs n'existe point pour l'humeur aqueuse.

Cette différence de densité étant supposée, on peut se représenter l'humeur vitrée comme formée de couches concentriques successives, 1, 2, 3, 4, 5, 6 (*fig.* 161). Si on imagine maintenant deux rayons parallèles G I et H I, tombant sur la lentille composée, ils pourront être réfractés par elle de manière à produire leur foyer dans le point F, et avant d'avoir rencontré la rétine. Après le point F, où l'entre-croisement a lieu, ces rayons devraient diverger, et par là même ne tracer sur la rétine qu'une image confuse. Mais si les couches successives du corps vitré vont en augmentant de densité vers le fond de l'œil, chacune d'elles devra rapprocher les rayons de l'axe de l'œil, de manière à les rendre à peu près parallèles; en sorte qu'il pourra exister une image distincte non seulement au point F, mais dans tout l'intervalle qui le sépare de la rétine, et sur la rétine elle-même.

Il faut observer que de semblables dispositions n'auraient à produire que de très-petits effets, puisque depuis la distance de huit pouces, où existe la vision distincte, jusqu'aux corps les plus éloignés, la différence des angles des rayons incidens est très-petite, eu égard au petit diamètre de la pupille, tandis qu'elle deviendrait très-considérable dans un plus grand rapprochement de l'œil. On conçoit aussi que cette correction serait de nul effet pour les cas dans lesquels les rayons partiraient d'un objet trop rapproché, puisqu'alors il ne se forme de foyer avant ni sur la rétine.

En examinant avec attention la condition de la rétine recevant des impressions, on peut arriver à un genre de solution plus simple et qui nous paraît plus probable. En effet, il est d'observation que les images produites par une lentille conservent après le lieu du foyer une assez grande netteté, quoiqu'elle grandisse et devienne moins éclairée.

C'est ce qu'on peut voir dans l'instrument connu sous le nom de lanterne magique. Il en résulte que la rétine, placée relativement aux objets éloignés un peu en arrière du foyer de leurs rayons dans l'œil, peut encore percevoir une image nette, ce qui ne saurait arriver lorsque ces mêmes rayons rencontrent la rétine avant d'avoir formé un foyer quelconque.

La vision naturelle est accompagnée de quelques circonstances remarquables. Elle donne lieu de notre part à différens jugemens qu'il est important d'examiner successivement, pour se faire une idée juste de la fonction.

Les images tracées dans l'œil sont évidemment renversées, et cependant nous voyons les objets dans leur position naturelle. On peut se rendre compte de cet effet, qui paraît extraordinaire, par le principe général, que nous rapportons toujours l'existence de l'objet dans la direction du rayon qui nous affecte; en sorte que le rayon qui frappe le bas de la rétine, étant celui qui vient de la partie supérieure du corps, nous jugeons cette partie dans le lieu qu'elle occupe réellement. Cette circonstance de nos sensations est, du reste, très-générale; car nous apprécions fort bien par le tact la direction suivant laquelle nous viennent les impressions.

L'homme, ainsi qu'un grand nombre d'animaux, est à la fois pourvu de deux yeux, qu'il emploie simultanément, d'où il résulte que la vision se compose de la perception de deux images. On a coutume d'expliquer la sensation unique qui provient de cette double cause, en disant que les images doivent se former exactement sur les points correspondans des deux rétines, et l'on en donne pour preuve la duplicité des images dans le strabisme, c'est-à-dire lorsque les axes visuels ne coïncident point

sur l'objet placé devant les yeux. Il faut cependant convenir que cette explication est tout-à-fait insuffisante. En effet, les deux yeux considérant un objet de petite étendue, comme un cube, par exemple, placé à huit pouces de distance, ont leurs deux axes visuels convergeant sur cet objet, et ces axes sont écartés d'autre part de tout l'intervalle qui sépare les deux yeux. En conséquence, chaque œil voit cet objet d'un point de vue différent; d'où il résulte que les images tracées dans les deux yeux sont nécessairement différentes l'une de l'autre, quoique la sensation qui en résulte soit unique, et se trouve composée de tout ce que les images formées dans les deux yeux ont de commun, aussi bien que de ce qu'elles ont de différent.

L'angle que forment les axes visuels des deux yeux, et par conséquent les rayons qui partent d'un même objet pour se rendre à ces deux organes, donnent lieu à des différences remarquables dans le jugement que l'on porte sur l'alignement de différens corps situés dans l'espace. Si l'on regarde l'extrémité de son doigt avec un seul œil, et qu'on le place dans l'alignement d'un objet éloigné, on trouve que ce doigt est précisément selon une ligne droite qui se porterait de l'objet éloigné vers la pupille.

Si, sans rien changer à la situation respective, on regarde avec l'autre œil seul, le doigt ne paraît plus dans l'alignement de l'objet éloigné, et il faut le déplacer d'une grande quantité pour le ramener dans la ligne droite, qui joint la pupille de ce nouvel œil au même objet. Mais ce ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que si l'on regarde avec les deux yeux à la fois, il faudra placer le doigt dans une situation moyenne, c'est-à-dire vis-à-vis la racine du nez. Cette manière de mirer étant beaucoup plus incertaine que la première, on a coutume de fermer un œil

pour ajuster exactement trois points sur la même ligne, comme lorsqu'on tire un coup de fusil.

387. *Angle visuel.* — Lorsqu'un objet quelconque est placé au-devant de l'œil, les rayons qui partent de ses points extrêmes forment, en entrant dans la pupille, un angle plus ou moins ouvert, et on lui donne le nom d'angle visuel. On conçoit aisément que l'ouverture de cet angle dépend du diamètre de l'objet et de sa distance à l'œil; d'où il résulte qu'à distances égales l'angle est d'autant plus ouvert que le diamètre est plus grand, et réciproquement. Mais d'un autre côté, à grandeurs égales, l'objet le plus près sous-tendra l'angle le plus grand, et réciproquement.

La seule notion que la vue nous fournisse directement sur la grandeur des objets, dépend de l'ouverture de l'angle visuel, en sorte que nous pouvons être trompés de toutes les manières sur la grandeur réelle d'un objet, quand nous ignorons sa distance véritable. Si, par exemple, nous regardons par un petit trou percé dans un écran, un carré de carton blanc d'un décimètre de côté, placé à un mètre de distance, on pourra lui substituer un carré de carton de deux décimètres de côté, placé à deux mètres de distance, sans que nous puissions soupçonner l'échange. Il paraît même que pour un aveugle de naissance, auquel on donne la faculté de voir par une opération chirurgicale, tous les corps semblent d'abord posés sur l'œil.

Il existe pour nous plusieurs moyens de rectifier les faux jugemens que nous venons d'indiquer : 1° nous contractons, dès l'enfance, l'habitude de nous transporter vers les objets que nous apercevons, et de comparer ainsi la nature de leurs images avec leur distance réelle; 2° les objets les plus éloignés sont ordinairement ceux qui en-

voient moins de lumière dans l'œil ; ce qui est une suite des lois du rayonnement ; 3° le sol lui-même sur lequel reposent les objets, et le nombre des corps intermédiaires, nous donnent une idée de distance. C'est en rectifiant, d'après ces données, les effets produits par l'angle visuel, que nous jugeons approximativement de la distance et souvent de la forme des corps.

Les moyens de rectification que nous venons d'indiquer deviennent eux-mêmes des causes d'erreurs fréquentes. Ainsi, de deux corps également éloignés, le plus éclairé nous paraît plus voisin ; et si une maison nous paraît plus petite qu'elle n'est, lorsqu'elle se trouve située au milieu d'une plaine unie, elle nous paraîtra beaucoup plus grande, si elle s'élève à l'extrémité d'une allée d'arbres ou au sommet d'une pente douce ; car, dans ce dernier cas, le grand nombre des objets intermédiaires nous faisant juger sa distance très-considérable, nous pensons qu'elle doit être d'une grande dimension, pour produire l'angle visuel qu'elle sous-tend.

Les deux effets dont nous venons de parler se produisent d'une manière très-prononcée, lorsqu'on regarde le soleil ou la lune dans différentes situations. A leur zénith, ces astres sont plus lumineux et sans objets intermédiaires ; on les juge plus voisins, et ils paraissent plus petits. On les voit au contraire beaucoup plus gros, lorsqu'ils sont à l'horizon, et surtout lorsqu'ils se lèvent à l'extrémité d'une allée d'arbres.

Les effets de la vision sur la rétine, d'une part, exigent un certain temps pour se produire, et, de l'autre, persistent pendant quelques instans. Il résulte de la première circonstance, que nous ne pouvons pas apercevoir un corps qui se meut très-rapidement, comme un boulet de canon ; il résulte de la seconde, que certaines impressions

produites dans un point de la rétine existent encore, lorsqu'il s'en produit de nouvelles. C'est ainsi qu'un brandon de feu, mu circulairement avec vitesse, produit l'effet d'un cercle embrasé.

Il faut remarquer encore que la rétine est susceptible d'une sorte de fatigue qui l'empêche d'éprouver des sensations faibles, lorsqu'elle vient d'en supporter de plus vives. C'est ainsi qu'on voit un point noir sur tous les objets, après avoir fixé le soleil; car la partie de la rétine sur laquelle l'image du soleil était peinte, est devenue insensible à une lumière ordinaire. On observe encore qu'après avoir fixé pendant quelque temps une surface blanche placée sur un fond noir, en regardant ensuite un fond blanc, on voit une surface noire, d'une figure semblable à la figure blanche qui avait précédemment affecté la rétine. Cet état relatif de sensibilité de la rétine est, du reste, tellement prononcé, qu'on ne voit rien dans un lieu médiocrement éclairé, lorsqu'on vient du soleil, tandis que les prisonniers s'accoutument à distinguer tous les objets dans l'obscurité de leurs cachots. C'est pour éviter le contraste de ces impressions, en facilitant la vision dans tous les cas, que l'iris se contracte et rétrécit la pupille sous l'influence d'une lumière vive; tandis qu'elle se relâche et l'agrandit considérablement, lorsque la lumière est faible.

388. *Imperfection de la vision.* — Sans parler des imperfections de l'organe de la vue, qui dépendent d'une lésion de la sensibilité, ni des affections morbides qui désorganisent entièrement le globe de l'œil, nous dirons quelque chose de la *myopie*, de la *presbytie*, de la *cataracte* et des moyens d'y remédier.

La *myopie* est une disposition ordinairement congéniale de l'œil, en vertu de laquelle il possède un pouvoir ré-

fringent trop considérable relativement à la distance qui se trouve entre le cristallin et la rétine, en sorte que tous les rayons provenant des objets placés à une certaine distance de l'œil forment leur foyer beaucoup trop tôt derrière le cristallin, et ne tracent par conséquent sur la rétine que des images confuses. Cette disposition vicieuse provient souvent d'un surcroît de convexité de la cornée transparente; mais elle peut dépendre aussi de l'état intérieur de l'œil, par exemple, de la forme du cristallin ou de la densité des humeurs. Quelle que soit sa cause, elle diminue ordinairement avec l'âge, parce que l'œil, moins distendu par l'abord des fluides, perd une portion de sa convexité antérieure.

Les myopes remédient au défaut de netteté de la vision en plaçant les objets très-près de l'œil, en sorte que les rayons qui en partent, se trouvant très-divergens, ne forment plus leur foyer que sur la rétine ou très-près d'elle.

Le grand rapprochement des objets étant toujours incommode et très-souvent impossible, les myopes font usage de lunettes dont les verres sont plan-concaves ou bi-concaves. On en prépare de plus ou moins courbes dont les degrés sont indiqués par des numéros.

Lorsque ces verres sont placés au-devant et près de l'œil, ils reçoivent les rayons provenant des objets, et par leur réfraction en augmentent la divergence, de manière à compenser exactement le surcroît de réfraction produit par l'œil.

La *presbytie* est une disposition très-rarement congéniale, mais qui survient presque toujours dans la vieillesse, et par laquelle l'œil est disposé de manière à recevoir des images nettes des objets fort éloignés qui lui envoient des rayons presque parallèles, tandis que les objets

plus voisins lui envoyent des rayons divergens qui ne formeraient leur foyer dans l'œil qu'au-delà de la rétine.

On voit que cette affection est le contraire de la myopie, et qu'elle doit dépendre d'un défaut de force réfringente de l'organe de la vue, que l'on attribue ordinairement à une diminution dans les humeurs de l'œil, qui n'entretiennent plus la convexité de la cornée transparente.

On y remédie en employant des verres plus ou moins convexes qui, par leur réfraction, diminuent la divergence des rayons provenant des objets voisins, et reportent leur foyer au-devant de la rétine.

La *cataracte* est une maladie quelquefois congéniale, mais qui appartient plus particulièrement à la vieillesse, et qui consiste, le plus ordinairement, dans une opacité du cristallin qui se développe plus ou moins rapidement, et qui finit par intercepter tout accès de la lumière. La chirurgie a imaginé différentes méthodes plus ou moins ingénieuses de soustraire cet obstacle à la vision, soit en l'extrayant réellement, soit en l'enfonçant, ou l'abaissant dans l'humeur vitrée, où il ne tarde pas à être absorbé. Lorsque les malades ont subi cette opération et que l'inflammation qui en résulte est complètement dissipée, ils éprouvent de nouveau les impressions de la lumière; mais ils ne distinguent les objets que d'une manière très-confuse, parce qu'il manque dans l'œil un des moyens principaux pour faire converger les rayons sur la rétine. Aussi ces individus sont-ils obligés de faire usage de lunettes fortement convexes, sans pourtant réussir à retrouver dans la vision cette netteté qui ne peut être le résultat que des rapports naturels et exacts des différentes parties de l'organe.

CHAPITRE VI.

DE QUELQUES INSTRUMENS D'OPTIQUE.

389. *Microscope simple.* — Les personnes qui sont dans la nécessité d'observer habituellement des objets d'une très-petite dimension, comme les organes sexuels des plantes, font habituellement usage d'une loupe, c'est-à-dire d'une épaisse lentille dont le foyer est fort court; et c'est à ce petit instrument qu'on donne souvent le nom de microscope simple. Il a la propriété de grossir considérablement les objets, du moins en apparence. On s'en sert en plaçant l'objet très-près de l'œil, et interposant la loupe dont on varie la position jusqu'à ce que l'objet soit vu distinctement. L'action de cette loupe se réduit en effet à fournir le moyen de voir distinctement, à un pouce de distance, par exemple, un objet qu'il faudrait placer à huit pouces sans le secours de la loupe. Cette seule circonstance rend l'angle visuel beaucoup plus grand, et accroît en même temps le moindre des rayons lumineux qui, partis de l'objet, peuvent pénétrer dans l'œil; double raison qui fait paraître l'objet considérablement grossi, et qui permet d'en apercevoir les plus petits détails.

La théorie des lentilles donne une explication satisfaisante de ces effets; car si le petit objet A (*fig.* 162) était placé à la distance AB de l'œil, ses rayons extrêmement divergens ne permettraient pas de le voir distinctement;

mais si la loupe LL est interposée, ces rayons divergens deviennent parallèles ou même un peu convergens après l'avoir traversé, pourvu que l'objet soit placé très-près du foyer principal de la loupe, et l'œil peut dès lors former de ces rayons une image parfaitement nette.

390. *Lunette de spectacle.* — Cet instrument est formé d'un verre convexe que l'on nomme *objectif* dans toutes les lunettes composées, parce qu'il est dirigé vers l'objet, et d'un verre concave que l'on nomme *oculaire*, parce qu'on y applique l'œil. Ces deux verres sont montés sur des tuyaux qui glissent et rentrent l'un dans l'autre pour modifier l'instrument suivant l'état de l'œil de celui qui s'en sert, et la distance des objets que l'on considère.

Le verre convexe a pour effet de rapprocher les rayons qui viennent des objets éloignés, pour en former un foyer auquel se peindrait une image renversée. Si l'œil nu était placé un peu avant le lieu de ce foyer, il apercevrait les objets agrandis, mais fort peu distincts, à cause de la direction convergente des rayons. Mais le verre concave qui sert d'oculaire, et qui est immédiatement appliqué sur l'œil, diminue cette divergence, et rend les images distinctes, en leur conservant une certaine amplitude. On conçoit que les images ne paraissent point renversées dans cette lunette, parce que le verre concave est placé un peu avant le foyer du verre convexe, en sorte qu'il n'y a point eu d'image formée, et que les rayons ne se sont point croisés.

391. *Lunette astronomique.* — Des enfans, en s'amusant à mettre deux verres convexes l'un devant l'autre, ont fourni la première idée de ces instrumens à l'aide desquels l'homme est parvenu à étendre l'usage, naturellement si borné, de la vue, à des distances prodigieuses. La lunette astronomique, quoique très-simple dans son mécanisme,

produit cet effet à un très-haut degré. Elle est composée (*fig.* 163) d'un objectif bi-convexe, qui doit être construit avec beaucoup de soin et rendu achromatique par les méthodes que nous avons indiquées. Il est ordinairement monté à l'ouverture d'un tuyau d'une longueur proportionnée à celle de son foyer. On conçoit facilement que ce verre, si sa courbure n'est pas trop grande, ni sa surface trop étendue, relativement à cette courbure, doit produire à son foyer une petite image renversée de l'objet vers lequel la lunette est dirigée. Cette image ne saurait être vue de près à l'œil nu, attendu qu'elle lui enverrait des rayons trop divergens; mais on la considère à l'aide d'une seconde lentille, qui prend le nom d'oculaire, et qui produit sur elle le même effet que produit le microscope simple sur les petits corps naturels. On voit donc cette image très-nette, très-lumineuse, considérablement grossie, mais renversée; ce qui du reste est indifférent pour les observations astronomiques. L'oculaire est monté sur un tuyau beaucoup plus petit que celui de l'objectif; il est mobile d'avant en arrière pour s'ajuster aux différentes positions de l'image, et l'ensemble de la lunette, porté sur un pied, se meut lui-même dans tous les sens à l'aide d'un mécanisme convenable.

392. *Lunettes composées.* — On prendra une idée générale des lunettes composées, en se représentant qu'après la première image formée au foyer de l'objectif, et qui se trouve renversée, on peut placer un second verre qui reforme une nouvelle image, laquelle sera droite et pourra être regardée à son tour avec un objectif, comme dans la lunette astronomique.

Nous savons qu'une lentille peut fournir une image plus grande que l'objet d'où les rayons lumineux sont partis, pourvu que cet objet puisse être rapproché de son foyer.

Or, la première image fournie par l'objectif d'une lunette composée, peut être considérée comme un petit objet que l'on peut placer près du foyer d'une seconde lentille, de manière que celle-ci fournisse une seconde image plus grande que la première, laquelle pourra être encore grossie par une seconde lentille, et enfin regardée à l'aide d'un dernier verre, comme dans les cas précédens. C'est à de pareilles combinaisons que les lunettes composées doivent leur pouvoir grossissant, qui peut être porté très-loin, en observant toutefois que chacun des verres qu'on emploie absorbe une partie de la lumière, ce qui limite nécessairement le nombre de ceux dont on peut faire usage.

393. *Microscopes composés.* — On donne le nom de *microscopes* à des instrumens composés dont on se sert pour regarder les petits objets, et qui produisent un grossissement très-considérable. On les a successivement perfectionnés, soit sous le rapport de leur disposition intérieure, soit dans leurs accessoires, qui servent à contenir, à présenter et à éclairer par réflexion ou par transmission les objets soumis à l'observation. La nature de cet ouvrage ne nous permet pas d'entrer dans les détails; nous nous contenterons de donner une idée générale de l'instrument. Au-devant d'une lentille A (*fig.* 164), dont le foyer doit être très-court et le champ très-peu étendu, on place le petit objet M que l'on désire observer. S'il se trouve très-près du foyer de la lentille, il se formera derrière cette lentille, mais à une grande distance, une première image F, qui sera déjà beaucoup plus grande que l'objet. Derrière cette première image on place une seconde lentille d'une étendue beaucoup plus considérable, et d'une convexité moindre que la première; et on la dispose de manière que, recevant les rayons de la première image F,

elle aille produire du côté opposé une seconde image F′, plus grande que la première, laquelle est enfin regardée avec une lentille C, l'œil étant placé au point O. On aperçoit alors une image qui sous-tend l'angle MOM′, et qui peut se trouver plus de huit cents fois plus grande que l'objet.

394. *Télescopes catoptriques.* — On peut se servir, pour produire des images et les observer, de miroirs concaves au lieu de verres.

Le *télescope grégorien* est composé (*fig.* 165) de deux miroirs concaves : l'un MM, plus grand et tourné vers les objets, est percé d'un trou dans son milieu. Les rayons qui tombent sur lui sont rassemblés vers le milieu *mm*, où se trouve un autre petit miroir concave qui les réfléchit avant qu'ils aient formé un foyer, et les renvoie à travers l'ouverture centrale du miroir MM, en portant leur foyer au point F, d'où l'image est observée avec un ou plusieurs verres grossissans, en sorte qu'on peut dire que l'image produite par le télescope est regardée avec un microscope.

Le *télescope Newtonien* est précisément construit sur les mêmes principes; seulement le petit miroir *mm* (*fig.* 166) est incliné de 45° sur l'axe du grand miroir, et dirige transversalement les rayons qui vont former l'image au point F. On voit que, dans ces deux instrumens, les seconds miroirs sont placés sur le chemin des rayons incidens. Mais ils sont assez petits pour n'en pas diminuer sensiblement le nombre.

395. *Microscope solaire.* — Cet instrument, d'une grande simplicité, et dont les effets sont si remarquables, a pour but d'éclairer assez fortement un très-petit objet, pour que l'on puisse ensuite, à l'aide d'une lentille, en former une très-grande image qui se trouve encore suffisamment

lumineuse, et que l'on reçoit sur un plan, dans une chambre obscure. La *fig.* 167 donne une idée de cet instrument : M M est un miroir plan qui reçoit les rayons du soleil et les porte sur la lentille L, qui les rassemble à son foyer F sur le petit objet, qui est ordinairement contenu entre deux lames de verre. Au devant de ce petit objet se trouve la lentille *l*, dont la distance peut varier à volonté, et qui produit sur le plan PP, placé à une grande distance, une image qui peut être douze cents ou quatorze cents fois plus grande que l'objet.

La *lanterne magique* n'est qu'une modification du microscope solaire, dans laquelle l'objet est éclairé au moyen d'une lampe dont les rayons, réfléchis par un miroir concave, sont encore rapprochés par une grosse lentille. Les objets, d'une assez grande étendue, sont peints sur une lame de verre, et la lentille antérieure qui produit l'image, présente un diamètre proportionné à l'étendue de l'objet.

596. *Chambre noire.* — La chambre noire est un appareil très-simple, dans lequel on recueille, sur un plan situé dans un espace obscur, les images des objets extérieurs. Un miroir plan très-pur MM (*fig.* 168) réfléchit les rayons d'un objet AB et les envoie sur la lentille LL, qui en porte l'image en A′B′. Elle s'y peint dans l'obscurité avec beaucoup de netteté, si les distances relatives sont convenables, et sans couleurs étrangères, si la lentille est achromatique.

CHAPITRE VII.

DE QUELQUES PHÉNOMÈNES ACCIDENTELS DE LA LUMIÈRE.

397. *De la double réfraction.* — Nous avons vu que la lumière, en passant d'un milieu dans un autre, éprouvait constamment et régulièrement une réfraction simple ou linéaire, qui changeait sa direction, et qu'une dispersion de ces différens rayons donnait lieu à la coloration. Ces deux ordres de phénomènes sont plus ou moins marqués, suivant les densités relatives et les qualités combustibles des différens corps ; ils sont aussi variables avec les incidences, mais ils existent dans tous les corps sans exception. Il n'en est pas de même d'un autre mode de réfraction, auquel on a donné le nom de *double réfraction*, et qui ne se rencontre que dans certaines substances, sans que l'on puisse déterminer exactement quel rapport il y a entre la nature du corps et le phénomène produit.

Si l'on prend un cristal limpide de sous-carbonate de chaux (spath d'Islande), et que l'on fasse passer un rayon solaire à travers deux de ses faces parallèles, on verra ce rayon se diviser dans l'intérieur du cristal, de sorte qu'il s'échappera de la face opposée deux rayons différens, formant un angle entre eux. L'un de ces deux rayons subira les lois ordinaires de la réfraction; on le nomme, à cause de cela, *rayon ordinaire.* L'autre se comportera suivant

des lois tout-à-fait différentes ; on le nomme *rayon extraordinaire.*

La même expérience se répète plus simplement en posant le cristal sur une feuille de papier blanc où l'on a marqué un point noir ; car en regardant à travers le cristal, on voit deux points noirs au lieu d'un. Ces deux points sont d'autant plus écartés que le cristal est plus épais; et si l'on fait tourner le morceau de spath, l'une des deux images, transmise par le rayon naturel, demeure immobile, tandis que la seconde décrit un cercle autour d'elle. Il semble donc qu'il y a, dans l'intérieur d'un semblable corps cristallisé, une certaine ligne que l'on nomme *axe de double réfraction*, et qui semble jouir de la propriété de repousser une portion de la lumière dans tous les sens et avec plus ou moins de force.

Toutes les substances qui peuvent produire la double réfraction ne paraissent pas présenter cette répulsion. Il paraît, au contraire, que quelques-unes ont des axes qui attirent la lumière, et qui produisent une double réfraction dans un sens opposé. Tel est, par exemple, le cristal de roche.

Toutes les substances dont la forme cristalline peut être rapportée à un rhomboïde ou à un prisme à base carrée, n'ont qu'un seul axe de double réfraction. Toutes les matières qui ne sont pas cristallines, ou dont les formes se rapportent au cube, ne produisent que la réfraction simple, à moins qu'on ne leur imprime quelques modifications en les comprimant ou les échauffant inégalement. Enfin toutes les substances cristallines, autres que celles que nous avons citées, ont, dans leur intérieur, deux axes de double réfraction disposés symétriquement par rapport aux formes cristallines. Les topazes, les micas, les sulfates de chaux et de baryte, etc., sont dans ce cas.

398. *Polarisation fixe de la lumière.* — Lorsqu'un cristal de spath d'Islande a été traversé par un rayon lumineux qui s'est divisé en deux portions, si l'on vient à faire passer ces deux rayons à travers un nouveau cristal, chacun d'eux ne se divisera point de nouveau; mais le rayon naturel sera réfracté suivant les lois ordinaires, tandis que le rayon extraordinaire continuera à subir les lois de la double réfraction; d'où il résulte que ces deux lumières, une fois séparées dans le premier cristal, jouissent désormais de propriétés parfaitement distinctes, et qui peuvent toujours les faire reconnaître.

Les propriétés qui caractérisent le rayon extraordinaire peuvent être transmises à la lumière par d'autres voies que la double réfraction. Il suffit pour cela que la lumière soit réfléchie par certaines substances, sous certains angles déterminés; par exemple, si l'on fait tomber un rayon lumineux sur une lame de verre qu'on aura noircie par derrière, et si l'angle d'incidence est de 35° 25′, le rayon, après sa réflexion, jouira des propriétés d'un rayon extraordinaire; car si on le regarde à travers un cristal de spath d'Islande, il pourra être entièrement dérangé de sa direction, dans certaine situation du cristal.

Il existe un autre moyen de reconnaître, dans la lumière réfléchie, les propriétés nouvelles qui caractérisent le rayon extraordinaire. Il suffit, pour cela, d'essayer de faire réfléchir une seconde fois le rayon par une nouvelle glace noircie et sous le même angle : en effet, si l'on présente la glace au rayon du même côté où il a déjà été réfléchi, ou dans le sens opposé, c'est-à-dire si les deux réflexions sont dans le même plan, le rayon sera réfléchi dans la seconde glace comme dans la première. Si, au contraire, la nouvelle glace est présentée sur les parties latérales du rayon réfléchi, de manière que le nouveau

plan de réflexion soit perpendiculaire au premier, ce rayon cessera absolument d'être réfléchi par la glace.

On voit donc qu'un rayon lumineux qui a subi la double réfraction, ou qui a déjà été réfléchi par certains corps sous certains angles, ne présente pas, comme la lumière ordinaire, les mêmes propriétés sur toutes ses faces; qu'il est susceptible d'être réfléchi d'un côté, quand il ne peut pas l'être de l'autre.

Ces observations, répétées et modifiées de beaucoup de manières, ont conduit Malus à admettre que les molécules de la lumière ont des extrémités douées de propriétés attractives et répulsives opposées; qu'elles sont ordinairement mêlées confusément par rapport à la direction de leurs *pôles*; mais qu'en traversant certains corps, ou en en frappant certains autres pour en être réfléchis, les pôles de ces molécules se trouvaient tous dirigés dans le même sens, à peu près comme un aimant puissant dirigerait à la fois, dans le même sens, un grand nombre de petites aiguilles aimantées. De cette supposition est née l'expression de *polarisation de la lumière*. Elle explique, du reste, d'une manière à peu près satisfaisante, une multitude de phénomènes qui ont été minutieusement observés, et permet de les soumettre au calcul.

399. *Polarisation mobile.* — En examinant avec une attention nouvelle les propriétés de la lumière polarisée, on s'est aperçu que des lames plus ou moins épaisses présentaient alternativement une lumière polarisée dans un sens et dans l'autre, et M. Arago a trouvé de plus que, dans ces polarisations à travers des lames minces, la lumière prenait des nuances assujetties à des lois particulières. M. Biot est parvenu à rattacher ces nouveaux phénomènes à la théorie générale, en supposant que, dans les cas où la lumière traverse les lames successives d'une

masse transparente, ces molécules éprouvent des oscillations comme une aiguille aimantée qu'on aurait dérangée de sa situation fixe; en sorte que, dans une lame infiniment mince, les molécules peuvent se trouver dans une direction, tandis que dans la lame suivante elles seraient dans le sens contraire; et ainsi successivement, jusqu'à ce qu'elles aient traversé toute l'épaisseur du corps. C'est à l'aide de cette ingénieuse supposition qu'il a pu expliquer et calculer une foule de phénomènes particuliers que présentent les lames superposées. Il a même été conduit à admettre, dans certains cas, que les molécules lumineuses tournent continuellement dans le même sens, en traversant un corps; ce qu'il a nommé *polarisation tournante.*

Nous regrettons que les bornes de cet ouvrage, sa nature élémentaire et le genre d'étude des lecteurs auxquels nous le destinons, ne nous permettent pas d'entrer dans de plus grands détails sur cette partie intéressante de la physique de la lumière. Mais, pour démontrer qu'elle est déjà sortie du genre des considérations purement spéculatives, nous citerons une de ses applications les plus intéressantes.

On avait présumé depuis long-temps que la lumière qui nous vient du soleil appartenait à une atmosphère environnant cet astre, et ne provenait pas d'un noyau solide en combustion. Mais on était loin de penser que l'on pût obtenir une preuve physique de ce fait. C'est cependant cette preuve qui a été fournie par les recherches sur la polarisation. En effet, la lumière qui émane d'un corps solide ou fondu ne provient pas seulement de son extrême surface; une portion s'est échappée d'une certaine profondeur du corps, et a dû traverser une couche même de sa substance. Il en résulte que toute lumière provenant d'un

corps solide ou fondu, est en partie polarisée : au contraire, les fluides élastiques n'ayant pas la propriété de polariser la lumière, celle qui provient de pareils corps en combustion, ou de ce qu'on nomme la *flamme*, n'est polarisée dans aucune de ses parties. Or, la lumière directe du soleil n'étant jamais polarisée, il devient extrêmement probable, si ce n'est tout-à-fait démontré, que cette lumière a sa source dans une atmosphère embrasée qui environne le globe du soleil.

FIN.

ADDITIONS

A L'ARTICLE *VAPEUR*.

Lorsqu'on a formé de la vapeur dans une capacité fermée, et que la température est telle que la tension se soit élevée à 1, 2 ou 3 atmosphères, en sus de l'atmosphère extérieure, on peut laisser échapper une portion de vapeur par une ouverture ménagée à dessein, et dont on puisse faire varier la forme et les dimensions. On peut aussi disposer un robinet de manière à permettre ou intercepter à volonté l'émission de la vapeur par l'ouverture.

Si l'on continue à chauffer le vase pendant l'émission de la vapeur, le liquide continuera à en fournir de nouvelle au fur et à mesure de la dépense, et on pourra entretenir une tension constante au moyen de soupapes de sûreté, d'un manomètre, et d'une alimentation continue.

On trouve ces dernières conditions réunies dans une chaudière de machine à vapeur bien disposée.

Le jet que forme la vapeur en sortant de l'orifice pour se répandre dans l'air, présente une foule de phénomènes de la plus grande importance; quelques-uns ont été observés depuis long-temps, les plus remarquables ont été

récemment découverts par nous; cet article additionnel est destiné à l'exposition des uns et des autres.

Le jet de vapeur qui s'écoule par une ouverture en minces parois, présente des phénomènes fort analogues, sous certains rapports, à ceux des veines liquides; ainsi il y a contraction de la veine dans les mêmes proportions et aux mêmes distances que pour les liquides; les tuyaux additionnels cylindriques ou coniques exercent aussi des influences analogues.

La vitesse avec laquelle la vapeur s'écoule dans l'air est très-considérable, et nous rapportons ici une table, dressée par M. Péclet, des différentes vitesses sous diverses pressions.

Vitesse de la vapeur sortant dans l'air sous différentes pressions.

Pression.	Vitesse par 1″.
1 atmosphère $\frac{1}{4}$	266
1 $\frac{1}{2}$	352
1 $\frac{3}{4}$	395
2	428
3	502
4	537
5	559
6	574
8	595
10	607
12	618
14	625
16	631
18	635
20	639

Dans cette table la première pression de 1 atmosphère 1/4 indique 1/4 d'atmosphère en sus de la pression extérieure, et l'on voit qu'à 4 atmosphères, qui n'en représentent que 3, la vitesse de la vapeur est de 537 mètres par seconde.

Il est très-remarquable que les vitesses croissent avec une extrême lenteur. Ce qui se conçoit du reste parfaitement, en considérant 1° que la vitesse d'écoulement, sous une même pression, est en raison inverse de la densité du fluide qui s'écoule, tandis que d'autre part, la densité de la vapeur à laquelle l'ouverture donne issue est en raison directe de sa force élastique, ou de la pression qu'elle supporte : d'où il résulte que, si la veine de vapeur s'écoulait dans le vide, la vitesse serait constante à toutes les pressions.

La présence de l'atmosphère extérieure est donc la seule cause qui fasse varier les vitesses ; ce qui explique comment, de 1 atmosphère 1/4 à 1 atmosphère et 1/2, la différence de vitesse est de 266 à 352 mètres, tandis que de 18 à 20, la différence n'est que de 635 à 639.

Le jet de vapeur qui s'échappe dans l'air donne lieu à un bruit aigu et très-intense dont la nature varie, au reste, suivant la forme de l'ouverture qui donne issue, et la matière qui la compose.

Quant on observe la veine fluide de vapeur, on remarque 1° qu'elle est d'abord transparente et invisible comme l'air, mais qu'après un court trajet elle devient d'abord nébuleuse et ensuite opaque ; 2° qu'à partir de la contraction, cette veine affecte une forme conique, ou se dilate successivement, et d'autant plus rapidement que la tension de la vapeur est plus considérable.

Ces deux phénomènes se conçoivent aisément, en tenant compte de l'état de compression où se trouvait la

vapeur quand elle a franchi l'orifice. En effet, si nous supposons de la vapeur à 3 atmosphères, au moment où elle sera versée dans l'air extérieur, elle devra tripler de volume dans tous les sens; mais comme elle possède une vitesse acquise suivant l'axe du jet, son expansion sphérique trace un cône dans l'espace.

On pourrait croire que la vapeur arrivée en se dilatant, jusqu'à occuper le volume triple que comporte la simple pression atmosphérique extérieure, cesserait de se dilater, et constituerait, dès lors, une veine cylindrique; mais il n'en est point ainsi: d'une part, la force d'expansion qui a porté le volume de 1 à 3, a communiqué aux particules de la vapeur une vitesse qui leur fait dépasser cette limite; et d'autre part, la présence d'un gaz n'étant point un obstacle à l'expansion indéfinie d'une vapeur, il en résulte qu'au delà du point où le volume de la vapeur a été triplé, l'expansion continue, la vapeur se mêle à l'air, perd sa transparence, se change bientôt en vapeur vésiculaire, et présente un cône très-volumineux, et dont la vitesse se trouve tellement retardée, qu'à quelques pieds de l'ouverture, la légèreté spécifique l'emportant sur la force de projection, la vapeur s'élève dans l'atmosphère sous la forme d'un nuage blanchâtre.

Lorsqu'on recherche, par observation, la température de la veine fluide, on trouve qu'à l'embouchure même elle est égale à la température intérieur de la chaudière; qu'à une certaine distance et à la limite de la transparence de la veine, la température n'est plus que de 100°, et qu'à des distances toujours croissantes, la température s'abaisse rapidement; de façon qu'à un certain point de l'axe de cette veine fluide, la température peut être 0°.

En réunissant les trois considérations, de l'accroissement de volume de la veine, de la perte de sa transpa-

rence, et de l'abaissement considérable de sa température, il est impossible de douter que la vapeur ne subisse une expansion extrêmement considérable, et ne se mêle intimement au volume d'air qui l'environne.

Il est essentiel de noter dès à présent le fait, que de la vapeur comprimée qui se trouve subitement soustraite à la compression, se dilate par sa propre force élastique, et par suite des vitesses acquises de ses molécules, jusqu'à n'avoir pas plus de tension que celle que comporte la température 0°, et qui est exprimée par 0^{m}, 005 de mercure.

MM. Clément et Thénard ont observé, il y a peu de temps, un effet très-curieux de la veine fluide.

Si de la vapeur ou de l'air s'échappe sous une pression quelconque par une ouverture percée dans une paroi plane, on pourra essayer de lui opposer une plaque d'un diamètre plus grand que celui de l'ouverture; lorsqu'on présentera cette plaque à quelques pouces de distance de l'ouverture, elle sera repoussée avec une force dépendante de la vitesse et du volume du jet; on obtiendra ainsi l'effet dynamique ordinaire de la veine fluide sur le plan. Mais si l'on rapproche successivement la plaque de l'orifice, à une très-petite distance du contact (c'est-à-dire lorsqu'il n'y aura plus qu'un intervalle de 0^{m}, 001, par exemple, entre la plaque et l'ouverture), la répulsion se changera subitement en une très-forte attraction; néanmoins la plaque n'arrivera jamais au contact, et il s'écoulera continuellement une lame mince de vapeur entre le disque et la portion de la surface plane qu'il recouvrira autour de l'orifice.

On peut répéter cette expérience avec le souffle de la bouche, en faisant usage d'un tube de verre, garni d'un plan de liége, sur lequel on voit un rond de carte ou de papier venir adhérer quand on l'en approche pendant

qu'on souffle dans le tube. En faisant l'expérience avec une feuille de papier légèrement humide, on peut remarquer que le papier se bombe en dehors, vis-à-vis l'ouverture du tube, ce qui prouve que cette partie du plan continue à éprouver la pression de la vapeur. Lorsque les disques sont minces et élastiques, ils entrent en vibration et produisent des sons variés. La force d'adhérence peut être très-considérable, et paraît proportionnelle d'une part à la tension de la vapeur, et d'autre part, à l'étendue de la zône de disque qui se trouve en rapport avec la surface plane environnant l'ouverture.

Les mêmes phénomènes se reproduisent en perçant l'ouverture dans une paroi cylindrique, sphérique, conique, pourvu que la plaque que l'on présente à l'orifice, ait la même forme que cette surface, ou soit susceptible de s'en approcher à une égale distance par tous ses points.

Ces phénomènes curieux ont donné d'abord de l'inquiétude sur le degré de sécurité que peuvent inspirer les soupapes de sûreté dont on fait usage pour les chaudières à vapeur; mais on a bientôt reconnu que, la zône de contact de ces soupapes de sureté, étant fort étroite relativement au diamètre de l'ouverture, l'influence du nouveau phénomène devenait sensiblement nulle.

L'explication du phénomène de l'adhérence des plaques a donné lieu à quelques controverse; voici la théorie qui paraît être généralement adoptée.

Lorsqu'une plaque circulaire beaucoup plus grande qu'une ouverture de même forme, est appliquée sur cette ouverture pendant qu'elle donne issue à la vapeur, il arrive que celle-ci est obligée, pour s'échapper, de passer entre la plaque et la paroi: depuis le bord de l'ouverture jusqu'au bord de la plaque, l'épaisseur de la lame de vapeur reste la même; mais les zônes concentriques succes-

sives que cette vapeur traverse, vont en s'accroissant : de sorte qu'il est nécessaire que la densité et, conséquemment, la force élastique de la vapeur diminuent proportionnellement ; en sorte qu'il doit arriver qu'à une certaine distance de la zône de moindre diamètre, la tension de la vapeur devienne moindre que la pression atmosphérique, et qu'en conséquence, cette pression qui agit sur la plaque, la presse contre la paroi par la circonférence, tandis que la vapeur l'en repousse par son centre. Il ne sera plus question que d'établir des rapports convenables entre ces deux forces, pour que la plaque adhère au lieu d'être repoussée.

Cette théorie nous paraît susceptible de graves objections, et elle nous semble du moins incomplète. Car si la vapeur s'échappe librement par la dernière zône circulaire qui se trouve au bord de la plaque, la pression atmophérique doit réciproquement s'y exercer, et s'opposer à ce que dans aucun point de cet espace plein de fluide élastique, la valeur puisse prendre une tension moindre que celle qui correspond à 1 atmosphère.

Pour compléter et rendre satisfaisante cette explication, il faut admettre que la vapeur comprimée, au moment où elle arrive entre le disque et la paroi, éprouve une détente subite qui lui fait dépasser de beaucoup en vertu de la vitesse acquise de ses molécules, l'expansion qu'elle aurait dû prendre sous la pression atmosphérique qu'elle supporte, comme il arrive, ainsi que nous l'avons exposé, à un jet de vapeur librement projeté dans l'air.

Cette condition du phénomène est d'autant plus indispensable à admettre, que l'on peut obtenir des adhérences en agissant avec de la vapeur à 10 atmosphères, tandis que l'accroissement de volume dans les zônes successives serait loin de s'étendre de 1 à 10, en sorte que dans ce cas la vapeur ne devrait jamais avoir une ten-

sion plus petite que celle qui correspond à 1 atmosphère.

Les connaissances relatives aux phénomènes que présente une veine de vapeur projetée dans l'air se bornaient à ce que nous venons d'exposer lorsque nous eûmes l'occasion de nous livrer à de nombreuses expériences faites sur une grande échelle, et dans le but d'améliorer les méthodes de combustion dans les fourneaux, de production de la vapeur d'eau, et, par suite, les procédés de navigation par la vapeur. Sans entrer dans le détail des tentatives successives qui nous ont conduit à nos résultats, nous nous contenterons d'exposer le fait nouveau que nous avons découvert, sa théorie, le moyen de le soumettre au calcul, et les applications que nous en avons déjà faites, et qu'on peut en faire par la suite.

Si l'on adapte à une chaudière à vapeur un tube métallique de 0^m, 030 de diamètre, par exemple, que l'on ferme son extrémité par une paroi plane, et que l'on perce dans cette paroi une ouverture circulaire de 0^m, 002 de diamètre, on obtiendra un jet de vapeur dont il sera facile de calculer la vitesse et la dépense en vapeur, étant donnée la pression dans la chaudière. Si l'extrémité de ce tube est introduite dans un autre tube de 0^m, 100 de diamètre, et perpendiculairement à sa longueur; si, en outre, cette extrémité est recourbée à angle droit, de manière à ce que le jet de vapeur se porte exactement dans l'axe du grand canal, on observera que la colonne d'air contenue dans le canal de 0^m, 1 sera mise en mouvement par le cône de vapeur: ce mouvement ne sera pas faible, incertain et irrégulier comme serait celui qui pourrait dépendre d'un simple entraînement de l'air environnant le jet, par suite d'un frottement réciproque; au contraire, le mouvement de l'air sera rapide, constant dans sa vitesse, et s'exécutera avec une force qui pourra être mesurée exac-

tement par des moyens que nous indiquerons bientôt.

La théorie d'un semblable phénomène est facile à déduire de tout ce que nous avons dit précédemment. En effet, la vapeur, en sortant de son orifice, se dilate progressivement, jusqu'à ce que la base du cône qu'elle représente remplisse la capacité du grand canal; mais dans cette expansion, la vapeur, dépassant de beaucoup la limite de la pression atmosphérique qui l'entoure, s'est mêlée à l'air, molécule à molécule, et conséquemment la vitesse de celles qui étaient en mouvement a dû se communiquer à celles qui étaient en repos; en sorte qu'à partir du moment de ce mélange, l'air et la vapeur doivent se mouvoir avec une vitesse commune, qui sera à la vitesse de la vapeur comme la masse commune est à la masse primitive. Il est facile d'établir une équation qui représente toutes les conditions du phénomène. En effet, si nous désignons la masse de la vapeur écoulée en une minute par M, la section du grand canal par S, la vitesse de la vapeur par V, et enfin la vitesse d'écoulement dans le grand canal par X, il est évident que la quantité de mouvement, après le mélange, devra être égale à la quantité de mouvement avant le mélange, celle-ci étant représentée par MV. Si nous cherchons maintenant quelle peut être la masse commune du mélange d'air et de vapeur, nous trouverons qu'on l'obtient en multipliant l'orifice par la vitesse, et qu'ainsi elle est représentée par SX; la quantité de mouvement sera cette masse multipliée par la vitesse $= SX^2$. On aura donc $SX^2 = MV$.

d'où. . . . $$X^2 = \frac{MV}{S}$$

et. . . . $$X = \sqrt{\frac{MV}{S}}$$

Ou si l'on désigne par s la section de l'orifice qui émet la vapeur et par V la vitesse de cette vapeur, on aura

$$SX^2 = sV^2; \quad \text{d'où } X = \sqrt{\frac{sV^2}{S}}, \quad \text{ou } X = V\sqrt{\frac{s}{S}}$$

Cette formule sera très-commode dans les applications; car la vitesse du courant d'air dans un tuyau, qui serait, par exemple, la cheminée d'un fourneau, sera toujours en raison directe de la vitesse du jet de vapeur, en raison directe de la racine carrée de la section du jet de vapeur, c'est-à-dire en raison directe du diamètre du jet de vapeur, et enfin, en raison inverse du diamètre de la section du tuyau principal.

Ces évaluations de vitesse du courant, dans le tuyau principal, se rapportent à l'air supposé à la température ordinaire, et à la vapeur supposée à 3 atmosphères de pression; mais ces deux fluides élastiques éprouveront dans le canal des expansions considérables, qui rendront les vitesses plus grandes en diminuant les densités; ce qui est d'ailleurs tout-à-fait indifférent pour le but que nous nous proposons, puisqu'il s'agit de connaître la dépense en vapeur sous la pression de 3 atmosphères, et les volumes d'air extérieur qui pourront être entraînés dans l'appareil.

En établissant ces équations, nous n'avons pas tenu compte des densités des fluides; mais la correction sera toujours facile à faire, attendu qu'il suffira de multiplier le second membre de l'équation ou la valeur de X par la racine quarrée du rapport des deux densités, de la vapeur et de l'air; si d'ailleurs on exprime par r et R les rayons des deux sections par où s'écoule la vapeur et le mélange

d'air et de vapeur; et par δ et d la densité de la vapeur et celle de l'air, l'équation deviendra

$$X = V \frac{r}{R} \sqrt{\frac{\delta}{d}}$$

Il est bien entendu que cette formule exprime la vitesse de l'air dans un canal libre et sans résistance, c'est-à-dire, la vitesse théorique; et que, pour le cas d'application, il faudra en déduire les effets des résistances que le mouvement de l'air peut éprouver par le frottement dans les conduits ou par toute autre cause.

En essayant une application numérique de cette formule; en supposant, par exemple, une ouverture de $0^m,002$ de diamètre, sous une pression de 3 atmosphères, l'injection se faisant dans un tube de $0^m,108$, on aura

$$M = 0^{\text{met. cub.}},00157$$
$$V = 500;$$

Et on tirera de l'équation

$$X = 9^{m}.3;$$

Et en faisant la correction pour la densité de la vapeur on aura

$$X = 10^m,72.$$

Dans ces suppositions, le volume d'air entraîné dans le tuyau est au volume de vapeur, supposé à 3 atmosphères, comme 105,63 : 1,57; c'est-à-dire que le volume de la vapeur consommée est environ $\frac{1}{67}$ du volume d'air mis en mouvement par cette vapeur avec une vitesse de $10^m,72$.

Le volume d'air, entraîné ainsi dans le tuyau, est en une heure 385,200 litres.

Ce volume d'air peut faire bruler, à raison de 15,000 it. par kilogramme de charbon, $25^k,5$ de ce combustible.

Ce poids de combustible peut réduire en vapeur, à raison de 6^k d'eau pour 1 de combustible, 153^k d'eau.

La consommation de vapeur, par un orifice de $0^m,002$ de vapeur à trois atmosphères de pression, est de 9^k par heure; en conséquence, la vapeur consommée est à la vapeur formée dans le rapport de 9 : 153, c'est-à-dire $\frac{1}{17}$.

L'expérience directe concorde parfaitement avec les résultats calculés suivant la formule. Ainsi :

Bateau à vapeur sur la Seine :

Tuyau court d'émission pour la fumée de $0^m,216$ de diamètre :

Orifice d'injection de $0^m,004$ de diamètre;

Dépense en vapeur par heure 36^k.

Formation totale de la vapeur dans la chaudière 600^k.

Consommation de combustible 112^k.

Ces résultats concordent à très-peu près avec ceux qu'on obtiendrait par le calcul pour ce bateau.

Il faut remarquer que, dans la circonstance particulière des bateaux à vapeur et dans une foule d'appareils placés dans une situation fixe, on n'obtient pas de la combustion du charbon de terre, la moitié du produit en chaleur qu'elle devrait donner, par la seule raison que le courant d'air qui détermine la combustion est trop faible, et qu'en conséquence celle-ci devient très-incomplète.

Si, d'une autre part, on cherche à rendre le courant d'air plus facile et plus rapide en diminuant le chemin que l'air chaud est ordinairement forcé de faire autour de la chaudière, on obtient, il est vrai, un courant rapide, mais on laisse échapper l'air du fourneau à une température de 5 à 600°.

Il paraît résulter des calculs de M. Péclet que le charbon

de terre peut produire une quantité de calorique capable d'élever l'air, qui est nécessaire à sa combustion, à 1000° de température; et, d'un autre côté, les fourneaux donnent toujours accès à une quantité d'air double de celle qui est nécessaire à la consommation du combustible.

Il résulte des diverses observations précédentes,

1°. Que, dans la construction actuelle des fourneaux où la rapidité du courant d'air est dans la dépendance de la légèreté spécifique qui résulte de l'élévation de température, on se trouve entre deux inconvéniens, savoir : de permettre à l'air d'emporter la moitié de la chaleur produite par le combustible, ou de n'obtenir qu'une combustion incomplète qui peut réduire au dessous du tiers la production de chaleur;

2°. Que ces inconvéniens peuvent être diminués dans les appareils fixes par des cheminées très-larges et très-élevées; mais qu'ils subsistent tout entiers dans les machines locomotrices, comme les bateaux et les voitures à vapeur;

3°. Qu'on peut toujours et dans toutes les situations obtenir un courant d'air suffisant pour une combustion complète, en profitant néanmoins de tout le calorique produit au moyen d'une injection de vapeur qui ne constitue qu'une perte de $\frac{1}{17}$, tandis qu'elle peut doubler et tripler le produit utile.

Il existe un grand nombre de cas, dans lesquels les avantages de cette méthode peuvent être encore plus marqués; nous voulons parler de toutes les circonstances où on a besoin d'échauffer des masses d'eau; car on peut conduire le prolongement de la cheminée horizontale, après qu'elle a reçu l'injection de vapeur, à travers un réservoir plein d'eau froide.

Dans ces circonstances avantageuses, l'air qui a servi à la combustion sort tout-à-fait froid, la portion de vapeur

qui avait été employée à l'injection se trouve condensée, et les particules visibles de la fumée ainsi que les vapeurs acides ou huileuses qu'elle entraîne se trouvant comprises dans la conversion de la vapeur en liquide, les résidus gazeux s'échappent inaperçus dans l'atmosphère.

De telles dispositions permettent d'employer sans aucune perte notable les produits en chaleur de la combustion la plus complète, et l'on peut en voir des exemples dans les nouveaux appareils des bains Vigier.

Il est facile de concevoir qu'un moyen aussi commode de déterminer des courans d'air, soit par aspiration, soit par impulsion, est applicable aux opérations les plus importantes des arts et de la vie domestique; nous n'en citerons que quelques exemples.

La ventilation des lieux publics, des hôpitaux, des mines, etc., sera produite avec la plus grande facilité, au moyen d'une petite dépense de vapeur et sans aucune complication de mécanisme.

On obtiendra dans les fourneaux à poudeler le fer des températures très-élevées et variables à volonté, en substituant à leur haute cheminée, dont l'action est insuffisante et infidèle, un court tuyau dans lequel le courant sera déterminé par un jet de vapeur, dont on réglera l'importance par un robinet à cadran.

On établira la soufflerie des hauts fournaux en faisant agir la colonne d'air par impulsion; on aura, il est vrai, un mélange d'un quintième de vapeur d'eau avec l'air, et l'on prétend que la présence de l'eau influe d'une manière nuisible sur la qualité de la fonte; mais il sera facile d'obliger d'abord le courant d'air à traverser des canaux plongés dans un réfrigérant.

En général, dans l'usage domestique et pour les usines situées au milieu des habitations, il sera toujours facile

de rendre fumivores les appareils à feu, puisque cette qualité dépend essentiellement de la rapidité du courant d'air dont on dispose pour alimenter la combustion.

La propriété dont jouit un jet de vapeur d'entraîner dans son mouvement l'air atmosphérique contenu dans un canal, emporte avec elle la possibilité de produire par ce moyen un vide plus ou moins complet dans un espace fermé, d'une grandeur quelconque; en effet, si l'une des extrémités du canal est en communication avec un espace d'ailleurs fermé et plein d'air, si l'autre extrémité est librement ouverte dans l'atmosphère, si d'une autre part on a introduit dans ce canal un tel jet de vapeur que la vitesse du mélange commun soit égale à celle avec laquelle l'air rentre dans le vide, il est évident que l'air de la capacité en sortira jusqu'à ce que les deux puissances se fassent équilibre, c'est-à-dire jusqu'à ce que le vide existe dans la capacité.

On sait que l'air rentre dans le vide avec une vitesse de 279^m par seconde, et comme il est facile de communiquer au mélange gazeux une vitesse supérieure, la vapeur seule et à 3 atmosphères ayant une vitesse de 500^m, il s'ensuit qu'il est toujours facile de produire un vide complet dans une espace quelconque, puisqu'on peut employer de la vapeur à des pressions bien supérieures et dont les vitesses peuvent s'élever jusqu'au delà de 600^m.

Si cette nouvelle méthode de faire le vide est féconde en expériences curieuses et en applications de la plus grande importance, il est nécessaire de remarquer que la dépense en vapeur sera toujours très-considérable relativement aux masses d'air entraînées, puisque le diamètre de l'orifice d'injection doit être très-peu différent de celui du tube extérieur; en sorte que cette méthode ne deviendra applicable que dans les cas où la vapeur, après avoir

servi à enlever l'air d'une capacité, pourra être appliquée à quelque autre usage.

Si le jet de vapeur peut ainsi extraire d'une capacité l'air qu'elle contient, elle peut également en enlever toutes les quantités de vapeur qui pourraient s'y trouver développées; et cette circonstance fournit un moyen nouveau et précieux d'exécuter en grand des évaporations de liquides, si ce n'est dans un vide complet, du moins dans un vide partiel, et suffisant pour les besoins des arts.

Si, par exemple, on dispose une chaudière sphérique à double fond, et qu'on la recouvre d'une seconde calotte sphérique, si l'on fait communiquer l'espace enfermé par la calotte supérieure avec le double fond au moyen d'un tube recourbé, et si dans ce tube même on pratique une injection de vapeur dirigée de la calotte supérieure vers le double fond, un liquide tel que du sirop de sucre sera promptement porté à l'ebullition, et la vapeur qu'il produira étant sans cesse reportée avec celle de l'injection dans le double fond de la chaudière, l'ébullition continuera sous une pression beaucoup moindre que celle de l'atmosphère, et par conséquent à une température plus basse que de coutume.

Nous avons fait construire des appareils ainsi disposés dans lesquels l'ébullition de l'eau se produit et s'entretient dans un vide partiel exprimé par une colonne de mercure de $0^m,42$; en sorte que la vapeur placée au dessus du liquide n'a qu'une tension exprimée par $0^m,34$. On sait assez de quelle importance était pour plusieurs arts, et particulièrement pour les exploitations et les raffineries de sucre, cette condition d'évaporer rapidement sous de faibles pressions et à de basses températures.

Puisqu'un jet de vapeur peut, en communiquant son mouvement à l'air qu'il rencontre dans un canal cylindri-

que, former un vide derrière lui, et déterminer une puissante aspiration; réciproquement, le mélange d'air et de vapeur, poussé vers l'autre extrémité du tube, peut exercer une égale pression dans le cas où l'air est admis librement dans le canal. Ainsi étant donné un réservoir plein d'eau avec lequel on ait fait communiquer l'extrémité d'émission du tube, et ce réservoir communiquant par son fond avec un tube qui se relève ensuite jusqu'à une certaine hauteur, nous disons que le mélange d'air et de vapeur exercera sur l'eau contenue dans le réservoir une pression quelconque, la déplacera en l'obligeant à monter par le tube ascendant, et occupera bientôt sa place. Ainsi ce mélange deviendra un agent mécanique propre à mettre de l'eau en mouvement sans l'intermédiaire d'aucune pièce mécanique, comme pistons et autres moyens employés jusqu'ici. Il ne reste plus qu'à examiner si la force élastique de la vapeur est employée ici avec plus ou moins d'avantage que dans les méthodes connues.

Si nous nous reportons à la formule qui exprime les conditions du mouvement dans un tube libre, savoir :

$$X = V \frac{s}{R} \sqrt{\frac{\vartheta}{d}}$$

nous verrons qu'il est facile d'en déduire les volumes écoulés par seconde en vertu de la vitesse X, et par la section dont R est le rayon; ainsi en désignant ce volume par M, on aura

$$M = XPR^2 \text{ ou } M = \left(V. \frac{r}{R} \cdot \sqrt{\frac{\vartheta}{d}}\right). PR^2$$

Il sera également facile de déterminer dans le volume total M ce qui appartient à l'air entraîné par la vapeur en retranchant le volume connu de cette vapeur écoulée pendant le même temps par l'orifice dont le rayon est r.

D'une autre part, quelles que soient les proportions du mélange d'air et de vapeur, il est évident que la vapeur aura subi la même expansion que dans un espace vide, et qu'en conséquence son volume propre sera le volume total, que la force élastique qu'elle aura conservée sera en raison inverse de ce volume, et qu'enfin sa température se sera abaissée jusqu'au degré qui correspond à cette tension.

En suivant cette série de calculs et de considérations appliquées à un cas particulier, on trouve par exemple que si la section principale a $0^m,054$ de rayon, si la section par où s'écoule la vapeur a $0^m,001$ de rayon, la vitesse d'écoulement du mélange sera $10^m,72$ par seconde, le volume écoulé dans la même unité de temps sera 107 litres de mélange qui seront formés de $1^L,57$ de vapeur, à 3 atmosphères, et de $105^L,63$ d'air, etc.

Le volume de la vapeur sera :: 1,57 : 107; la température sera abaissée à 22°; sa tension correspondra à $0_m,024$ de mercure ou $0^m,324$ d'eau.

Il est facile de voir que dans cette opération l'expansion de la vapeur est mise à profit depuis 3 atmosphères jusqu'à $0^m,024$ de mercure ; par conséquent dans une étendue qui surpasse de beaucoup ce qu'on a jamais pu espérer des mécanismes connus.

On voit aussi que la vapeur mêlée à l'air à cette température ne peut éprouver aucune condensation notable dans son contact avec l'eau ou avec les parois des vases, d'abord parce que la différence de température est faible, et en second lieu parce que l'interposition d'une grande quantité d'air rend la condensation de la vapeur extrêmement lente, tandis que les pressions à opérer durent à peine quelques secondes dans toutes les circonstances pratiques.

Nous n'avons pas tenu compte de la communication de chaleur qui doit se faire de la vapeur à l'air, avec lequel elle se mêle; il était en effet inutile de faire entrer cette donnée dans le calcul des effets mécaniques; car les gaz et les vapeurs se dilatant d'une même quantité pour un même nombre de degrés du thermomètre, il s'ensuit que si la vapeur s'est refroidie, l'air s'est échauffé, et conséquemment dilaté. Et quand bien même la vapeur se serait condensée en grande partie, ou plutôt comme, cela arrive, convertie en vapeur vésiculaire, tout le calorique qui la constituait étant employé à la dilatation de l'air, le résultat mécanique demeurerait encore identique.

Une considération qui découle de ce que nous venons de dire, et qui est extrêmement importante, c'est que, si la communication de la température de la vapeur à l'air, ne modifie pas les effets mécaniques, elle a le grand avantage d'abaisser beaucoup la température commune, et conséquemment de diminuer encore la chance de la condensation et de l'échauffement des parois des vases.

Cette nouvelle méthode d'élever de l'eau de réservoir en réservoir sans pièces mécaniques, et en profitant de la détente de la vapeur jusqu'à des limites très-reculées, deviendra on ne peut pas plus avantageuse pour l'élévation des eaux dans les grandes villes, les épuisemens de toute nature, et même l'alimentation des canaux. Il ne serait pas impossible de fonder sur cette méthode un jeu d'écluses sans consommation d'eau courante, puisque le niveau pourrait être élevé aux dépens de l'eau inférieure.

On cherche depuis long-temps à introduire des améliorations dans l'art de la navigation à la vapeur: elles doivent principalement consister dans la suppression des pièces mobiles extérieures au bâtiment, et de ce mécanisme à grande puissance qui résiste si difficilement à

l'agitation de la mer, et aux mouvemens de la coque du bâtiment, encombrant d'ailleurs sa capacité et le chargeant d'un poids tel qu'il ne peut plus recevoir aucun chargement additionnel, et peut à peine emporter du combustible pour quelques jours.

Déjà l'application de nos nouveaux principes au tirage des fourneaux permet de supprimer les cheminées ascendantes, et de réduire de beaucoup le poids des chaudières.

Nous avions nous-mêmes proposé de déterminer la propulsion du bâtiment, en mettant en mouvement des colonnes d'eau qui le traversent dans toute sa longueur, et la marine fait en ce moment construire un nouveau bâtiment sur ces principes.

On fait usage, dans ce nouvel appareil, d'une pompe à grandes dimensions qui a pour effet de mettre en mouvement, alternativement et avec intermittence, deux colonnes d'eau contenues dans des tubes métalliques qui traversent le bâtiment d'un bout à l'autre, au dessous du niveau de sa flottaison.

D'après les nouvelles données fournies par nos recherches sur l'action d'un mélange d'air et de vapeur, l'impulsion pourra être donnée directement à ces colonnes d'eau au moyen de volumes d'air entraînés dans un tube d'un diamètre convenable par une injection de vapeur; en sorte que l'ensemble de ces principes se trouvant complètement appliqué à la navigation à la vapeur, on obtiendra un bâtiment qui ne portera pour tout mécanisme, que des chaudières et des canaux cylindriques situés à fond de cale, sans cheminée ni aucune pièce d'appareil qui doivent s'élever au dessus du faux pont.

Ces bâtimens consommeront beaucoup moins de combustible que les meilleures machines actuelles; le pont et l'entre-pont demeureront parfaitement libres; l'appareil

moteur ne représentera que $\frac{1}{01}$ du tonnage du bâtiment; quand il sera question de voyages prolongés, on pourra embarquer du combustible pour un temps considérable; enfin les bâtimens à vapeur pourront devenir des moyens militaires qui jouiront d'une grande supériorité sur tous ceux que le vent seul peut mettre en mouvement.

ADDITIONS

AU LIVRE *DE LA LUMIÈRE*.

DIOPTRIQUE.

La vision étant un des phénomènes de l'économie animale qui se prête le mieux en apparence à des applications directes de la physique, et ces applications exigeant pourtant la connaissance des points les plus délicats de la dioptrique; et, en conséquence, la théorie physique de la vision étant jusqu'ici restée fort incomplète, nous croyons devoir réunir dans cette note toutes les notions nécessaires à la solution du problème, indiquer les résultats déjà obtenus, et montrer ce qui reste à faire pour constater, par exemple, les causes physiques de l'achromatisme de l'œil.

L'action d'un prisme sur la lumière servant de base à la théorie des lentilles, nous commencerons par exposer avec plus de détails que nous ne l'avons fait dans le corps de cet ouvrage, les phénomènes qui résultent du passage d'un rayon lumineux à travers un prisme réfringent. Nous avons expliqué comment l'angle réfringent d'un prisme produisait, sur un rayon lumineux, deux déviations qui s'ajoutaient l'une à l'autre, au lieu de se compenser comme

il arrive lorsque les surfaces d'émergence et d'immergence sont parallèles. Mais le rayon qui entre dans un prisme par une de ses faces peut ressortir par une autre face ou bien en être réfléchi suivant l'angle sous lequel il se présente : car nous avons vu (Lois de la Réfraction) qu'il y a un *angle limite* passé lequel la lumière ne peut pas sortir d'un milieu plus dense pour entrer dans un milieu moins dense. Ce qu'il y a de plus remarquable dans cette circonstance, qui se présente souvent, c'est que la réflexion est alors complète, tandis que, dans tous les autres cas, il y a toujours une portion plus ou moins grande de la lumière qui est absorbée par le corps réfléchissant ; il en résulte que la surface de contact d'un prisme de cristal avec l'air est le meilleur de tous les miroirs. On a mis cette propriété à profit dans la *camera lucida;* on s'en sert aussi pour la chambre noire en construisant un prisme dont une face convexe sert de lentille, tandis que la face d'émergence sert de miroir.

Il est facile de concevoir que l'angle limite est une excellente mesure du rapport constant de l'angle d'incidence à l'angle de réfraction, ou de ce qu'on appelle *indice de réfraction;* nous verrons en effet que cet angle limite fournit une méthode commode de mesurer cet indice.

La réfraction simple dans le prisme offre encore une circonstance particulière qu'il est essentiel de noter ; elle est relative à ce que l'on nomme la *déviation minimum* du prisme.

Si l'on regarde les objets extérieurs à travers l'angle d'un prisme en le faisant tourner lentement sur son axe, il est facile de s'apercevoir que le déplacement qu'ils éprouvent dans leur situation apparente varie suivant la position du prisme; en le faisant d'ailleurs tourner tou-

jours dans le même sens, on voit que la déviation diminue d'abord jusqu'à un certain point et va ensuite croissant de nouveau. Ce fait est une conséquence de ce que nous avons dit (Lois de la Réfraction), que l'angle de réfraction croissait avec l'angle d'incidence; mais il est facile de constater par l'expérience et de démontrer par le calcul que le moment où le déplacement est à son minimum est précisément celui où les rayons incidens et émergens forment avec les faces du prisme des angles égaux, et c'est aussi le moment où la portion du rayon qui traverse le prisme forme avec les deux faces un triangle isocèle. Nous verrons bientôt combien cette circonstance est utile pour déterminer les indices de réfraction.

Nous allons exposer brièvement les trois procédés employés jusqu'à présent pour déterminer les indices de réfraction; le premier, fondé sur la mesure de *l'angle minimum* de déviation; le second, sur la mesure de *l'angle limite;* et le troisième, de M. Brewster, sur la mesure du foyer des lentilles.

Si l'on dispose (*planch.* x, *fig.* 169) un prisme AAS, dans une situation telle que ses arêtes soient parfaitement verticales; si ce prisme est mobile sur son axe vertical; si, d'une autre part, on place au point O un cercle répétiteur horizontal, il sera facile d'apercevoir, à travers une des lunettes, l'image d'une mire quelconque, d'une bougie allumée, par exemple, à une très-grande distance, à travers le prisme; et en faisant peu à peu tourner celui-ci, on parviendra à le placer dans la position du minimum de réfraction.

Ayant ainsi placé le prisme et le cercle répétiteur, de façon que l'une des lunettes laisse voir la mire à travers le prisme, on pourra diriger l'autre de manière à apercevoir la mire directement.

Il est évident que les deux lunettes feront entre elles un angle que l'on comptera sur le cercle répétiteur. Cet angle est, dans la figure, l'angle D, qui est vraiment l'angle de déviation, parce que les rayons visuels qui suivent les lignes I L et O L′ peuvent être considérés comme parallèles à cause de la grande distance ou nous avons supposé que la mire était placée.

Maintenant nous disons que, si l'on connaît l'angle réfringent du prisme par une mesure directe et l'angle de déviation D par l'opération que nous venons de décrire, on pourra en déduire l'indice de réfraction de la substance du prisme par rapport à l'air. En effet, si l'on désigne par N l'indice de réfraction, on a

$$N = \frac{\text{Sin. P}}{\text{Sin. S}}$$

c'est-à-dire N égale le sinus d'incidence divisé par le sinus de réfraction.

Si donc on peut mettre à la place de sinus P et de sinus S des valeurs ne contenant que D ou G, on aura la valeur de N en quantités connues.

Or, dans le cas de l'expérience, le triangle S I I′ est isocèle, et l'angle de réfraction est égal à $\frac{G}{2}$; car $\frac{G}{2}$ est complément de SII′, qui lui-même est complément de l'angle de réfraction correspondant.

Maintenant, si l'on mène par le point O la ligne O B parallèle au côté S A du prisme, et la ligne O B′ parallèle à l'autre côté S A′ du même prisme, il est évident qu'on aura :

$$D = 180^\circ - L'OB - G - B'OE$$

Et comme $B'OE = L'OB = MIA = 90^\circ - P$

on a..... $D = 180° - 180 + 2P - G$,

ou..... $D = 2P - G$,

ou..... $P = \frac{D+G}{2}$.

En mettant ces valeurs de P et de D dans l'équation primitive

$$N = \frac{\text{Sin. } P}{\text{Sin. } S},$$

On trouve

$$N = \frac{\text{Sin.} \left(\frac{D+G}{2}\right)}{\text{Sin.} \frac{G}{2}}$$

On voit que cette valeur de l'indice de réfraction ne contient que les valeurs de G, angle réfringent du prisme qui peut être mesuré directement, et de D, angle de déviation qui peut être mesuré aussi par la méthode que nous venons de décrire. La méthode que nous venons de développer est susceptible d'un grand degré d'exactitude, et peut être commodément appliquée à la détermination de l'indice de réfraction pour les corps solides, liquides, et même gazeux, pourvu qu'ils soient transparens et qu'on en possède des volumes suffisans pour leur donner une figure prismatique d'un angle déterminé.

Pour les corps solides, on taille la substance dont on recherche l'indice en un prisme triangulaire dont on mesure exactement l'angle réfringent avec un goniomètre de Wollaston, ou par tout autre moyen; et l'on place ce prisme dans la situation que nous avons décrite pour le prisme S A A′, afin de déterminer la valeur de l'angle D.

Pour les corps liquides, on les place dans un prisme creux dont l'angle réfringent est également mesuré avec

exactitude, et qui est fermé par des lames de verre qui ne sauraient influer sur la déviation, attendu que, leurs surfaces étant parallèles, les déviations à l'entrée et à la sortie de ces lames se compensent exactement.

Pour les gaz, on opère d'une manière analogue; c'est-à-dire qu'on les enferme dans un espace terminé par deux lames de verre qui font entre elles un angle réfringent connu : mais ici la difficulté de l'exactitude dans les expériences devient beaucoup plus grande, attendu d'abord que, la force réfringente étant très-petite, l'angle de déviation est plus difficile à observer exactement. En second lieu, parce qu'il est nécessaire de tenir compte avec une grande précision de la température et de la pression, qui toutes deux font varier, dans des limites très-étendues, la densité des gaz et conséquemment leur pouvoir réfringent.

M. Dulong a usé d'un artifice fort ingénieux pour faciliter ces recherches et leur assurer un plus haut degré d'exactitude. Il est parti de ce principe que le pouvoir refringent est directement proportionnel à la densité d'un corps qui ne change pas de nature, et qu'il est variable pour les corps de nature différente à égale densité. En conséquence, il a mis l'intérieur du prisme creux servant à des expériences sur le gaz, en communication avec un manomètre et avec une pompe aspirante et une pompe foulante. Il a placé le prisme et le cercle répétiteur dans leurs rapports convenables, le prime étant rempli d'un gaz quelconque; puis ensuite, sans rien déplacer de l'appareil, il a substitué d'autres gaz et il a fait varier leur densité en plus ou en moins, jusqu'à ce que le rayon dévié parvînt dans la lunette comme dans le premier cas; ainsi l'angle est demeuré constant; mais il a fallu donner aux différens gaz des densités plus grandes ou plus pe-

tites pour arriver à cet angle de déviation ; or, la faculté réfringente de chaque gaz était nécessairement en raison inverse des densités qu'il avait fallu leur communiquer artificiellement pour rendre égale leur action sur la lumière.

On voit que les résultats de M. Dulong qui ont été obtenus en 1825 ne donnent que des rapports entre les gaz; mais en 1805, MM. Biot et Arago avaient obtenu l'indice de réfraction de l'air atmosphérique, en faisant passer la lumière à travers un semblable prisme complètement vide d'air ; ils avaient ainsi trouvé qu'à 0° et sous la pression $0^m,76$ l'indice de réfraction de l'air par rapport au vide, était 1,000294, résultat qui s'est trouvé parfaitement d'accord avec la supposition que M. Delambre avait été obligée de faire pour se rendre compte des déviations observées dans les recherches astronomiques.

Il est indispensable, pour entendre les résultats d'expériences et les tables qu'on trouve dans les ouvrages de physique, de bien comprendre la valeur de quelques expressions usitées.

Nous avons dit qu'on appelait indice de réfraction le rapport constant qui subsiste à toutes les incidences quand la lumière a passé d'un milieu dans un autre; mais il y a, pour toutes les substances, un indice de réfraction par rapport au vide lui-même, et c'est cet indice de réfraction que l'on indique ordinairement pour une substance donnée.

En outre, il est évident que, si la lumière, au lieu de passer du vide dans un prisme de cristal ou du prisme de cristal dans le vide, traversait l'air avant et après, il faudrait connaître l'indice de réfraction du cristal par rapport à l'air, lequel serait nécessairement moindre que

celui par rapport au vide; et si la lumière passait de l'eau dans le cristal, l'indice de réfraction serait encore beaucoup plus petit. Mais on est arrivé dans l'ensemble des recherches sur cette matière à un résultat général fort important et fort commode; savoir, que l'indice de réfraction d'un milieu par rapport à un autre, est toujours égal au rapport des indices de réfraction de ces deux substances par rapport au vide. Ainsi soient N et N′ les indices de réfraction de deux substances A et B par rapport au vide; l'indice de réfraction de B par rapport à A, sera

$$\frac{N'}{N}$$

Par exemple, l'indice de réfraction du verre par rapport au vide est 1,525; celui de l'eau par rapport au vide, est 1,336. En conséquence, l'indice du verre par rapport à l'eau est

$$\frac{1,525}{1,336} = 1,141;$$

et l'indice de l'eau par rapport au verre est

$$\frac{1,336}{1,525} = 0,876$$

Cette vérité remarquable découle d'un fait d'observation très-simple; savoir, que, si l'on superpose différens milieux à faces parallèles, de pouvoirs réfringens divers, la direction de la lumière, en sortant de l'ensemble de ces milieux, sera toujours parallèle à la direction de son incidence; c'est-à-dire qu'il n'y aura jamais de déviation qui subsiste à l'émergence dans l'air : ce qui emporte la nécessité que le rapport des sinus à travers ces milieux soit constant et égal au rapport des indices de ces milieux par rapport au vide.

On donne le nom de *puissance réfractive* d'une substance au carré de son indice de réfraction diminuée de l'unité, et on l'exprime par $N^2 -$. On suppose en effet, dans le système de l'émission, que la puissance de réfraction a pour objet d'accélérer la marche de la lumière par l'accroissement de l'attraction des particules du corps réfringent pour celle du fluide lumineux; et l'on a été conduit à admettre que les effets étaient proportionnels au carré de l'accroissement de vitesse de la lumière. La même expression est conservée dans le système des ondulations; mais alors l'accroissement de vitesse est supposé produit par la plus grande densité de l'éther contenu dans les milieux les plus réfringens.

Les nombres qui expriment la puissance réfractive sont obtenus directement par l'indice de réfraction, et les puissances réfractives relatives, par le rapport des deux puissances réfractives absolues, comme dans les cas précédens.

On nomme *pouvoir réfringent* d'une substance le quotient de sa puissance réfractive par sa densité; puisqu'en effet cette division met en quelque sorte à découvert ou isole complètement l'effet qui résulte de la nature intime du corps, indépendamment de la densité quelconque sous laquelle on a observé; nous citerons quelques exemples :

SUBSTANCES.	Indice de réfraction.	Puissance réfractive.	Pouvoir réfringent.
Eau.	1,336	0,785	0,785
Verre ordinaire. .	1,525	1,326	0,533

On voit que la puissance réfractive et le pouvoir réfringent de l'eau sont exprimés par le même chiffre, attendu que sa densité est prise pour unité, mais que le pouvoir réfringent du verre est plus petit que celui de l'eau, quoique sa puissance réfractive soit plus grande, ce qui dépend de ce que sa densité est plus que le double de celle de l'eau.

Comme le pouvoir réfringent exprime effectivement le mode d'action des corps sur la lumière, en vertu de leur nature diverse et indépendemment de leur densité, nous donnons ici une table du pouvoir réfringent de quelques corps solides et liquides.

Tableau des pouvoirs réfringens de quelques solides et liquides.

Sulfate de baryte. . . .	0,383	
Quartz.	0,541	Malus.
Acide sulfurique. . . .	0,612	Newton.
Spath calcaire.	0,642	Malus.
Cristal de roche. . . .	0,654	
Acide nitrique.	0,668	
Flint-glass, minimun. .	0,734	
Rubis.	0,739	
Topaze du Brésil. . . .	0,759	
Eau.	0,785	
Flint-glass, maximum. .	0,874	
Alcool.	1,012	
Carbonate de potasse. .	1,023	
Chrômate de plomb. .	1,044	
Hydrochlorate d'ammoniac.	1,129	

Nitrate de potasse. . .	1,196	
Hydrochlorate de soude.	1,209	
Camphre.	1,255	Newton.
Huile d'olive.	1,261	*Id.*
Huile de lin.	1,282	*Id.*
Cire.	1,331	Malus.
Essence de térébenthine.	1,322	Newton.
Ambre.	1,365	*Id.*
Diamant.	1,456	*Id.*
Id.	1,396	Malus.
Ambre gris.	1,700	
Soufre.	2,200	
Phosphore.	2,886	

On voit par cette table qu'en général les substances d'une nature combustible ont un pouvoir réfringent considérable, et quoique Newton ne connût ni celui du soufre, ni celui du phosphore, qui sont décisifs sous ce rapport, il n'avait pas hésité à conclure du pouvoir réfringent de l'eau et du diamant, que ces substances alors inconnues dans leur nature, devaient contenir quelques principes combustibles.

En multipliant par 0,000589, qui est la puissance réfractive de l'air, tous les nombres obtenus par M. Dulong pour les puissances réfractives des gaz à densité égale, on a les puissances réfractives ou les valeursde N^2 — de tous les gaz; en ajoutant l'unité, et extrayant la racine carrée, on a les indices de réfraction; et enfin, en divisant les puissances réfractives par la densité, on a les pouvoirs réfringens. Nous donnons ci-après le tableau qui résulte de ces calculs.

Tableau des puissances réfractives des gaz à 0° et a 0_m 76.

NOMS DES GAZ.	Densité.	Indices de réfraction.	Puissances réfractives	Pouvoirs réfringens.
Air atmosphérique . .		1,000294	0,000589	0,000589
Oxigène	1,103	1,000272	0,000544	0,0000494
Hydrogène	0,068	1,000138	0,000277	0,0004075
Azote.	0,976	1,000300	0,000601	0,0000616
Ammoniaque.	0,591	1,000385	0,000771	0,0001305
Acide carbonique. . . .	1,524	1,080449	0,000899	0,0000589
Chlore	2,470	1,000772	0,001545	0,0000625
Acide hydrochlorique.	1,254	1,000449	0,000899	0,0000717
Oxide d'azote.	1,527	1,000503	0,001007	0,0000659
Gaz nitreux.	1,039	1,000303	0,000606	0,0000583
Oxide de carbone. . .	1,992	1,000340	0,000681	0,0000342
Cyanogène	1,818	1,000834	0,001668	0,0000917
Gaz oléfiant.	0,980	1,000678	0,001356	0,0001384
Gaz des marais. . . .	0,559	1,000443	0,000886	0,0001584
Ether muriatique. . .	2,234	1,001095	0,002191	0,0000981
Acide hydro-cyanique.	0,944	1,000451	0,000903	0,0000967
Gaz oxi-chloro-carbonique.	3,442	1,001159	0,002318	0,0000673
Acide sulfureux. . . .	2,247	1,000665	0,001131	0,0000503
Hydrogène sulfuré. .	1,178	1,000644	0,001288	0,0001098
Ether sulfurique. . . .	2,580	1,001530	0,003061	0,0001186
Soufre carburé. . . .	2,644	1,001500	0,003010	0,0001139
Hydrogène proto-phosphoré.	1,256	1,000789	0,001579	0,0001257

Ce tableau prouve que les puissances réfractives des gaz n'ont aucun rapport avec leur densité, que les puissances réfractives des simples mélanges sont égales à la somme des puissances réfractives des corps mélangés; que, dans les corps composés, la puissance réfractive est tantôt plus petite, tantôt plus grande que la somme des puissances réfractives des composans; et qu'enfin, lorsque les corps changent d'état, leur pouvoir réfringent augmente lorsqu'ils deviennent plus denses, et diminuent

lorqu'ils le deviennent moins. C'est ainsi que le pouvoir réfringent du carbure de soufre est plus grand sous la forme liquide que sous la forme gazeuse. Ce qui rend très-probable que le pouvoir réfringent augmente lorsque les fluides élastiques, sans pour cela se réduire en liquides, sont cependant fortement comprimés, et diminue dans le cas contraire.

Le premier procédé que nous venons de décrire ne peut être employé à déterminer l'indice de réfraction d'un corps solide ou liquide que dans le cas où l'on dispose d'un volume assez considérable de ces corps, et où ils sont d'ailleurs assez transparens pour permettre à la lumière de les traverser dans une épaisseur considérable. Mais ce procédé est évidemment inapplicable à des corps solides opaques; à des corps solides dont on ne posséderait que de petits fragmens, ou qui seraient trop mous pour conserver une figure déterminée; il ne saurait non plus s'appliquer à des liquides dont on ne posséderait que quelques gouttes.

L'ingénieux M. Wollaston a imaginé un procédé qui s'applique précisément à tous les cas dans lesquels on ne saurait déterminer l'angle minimum, c'est-à-dire à des corps opaques, à des parcelles de corps solides, et à la plus petite goutte d'un liquide quelconque. Ce procédé est fondé sur la connaissance de ce que nous avons indiqué par les expressions d'angles limites. Supposons (fig. 170) un prisme rectangulaire A D B, dont une face soit horizontale, et supposons qu'à quelque distance du prisme et dans une position verticale on place une règle graduée V V′, et que le long de cette règle on puisse faire glisser une plaque percée d'un trou: il est évident que tous les rayons qui tendront à entrer dans ce prisme, dans les directions L G ou L′ G, tomberont d'abord sur la face A D; mais les uns la pénétreront et les autres ne la pénétre-

ront pas suivant la valeur de l'angle de limite de la substance dont le prisme sera formé. Si, par exemple, ce prisme avait la forme indiquée dans la figure, aucun des rayons pénétrant par la face A B ne saurait traverser la face A D, supposant que ce prisme fut formé de crown-glass, attendu que l'angle limite de cette substance est de 40° 39′. En conséquence, de quelque point de la règle V V′ que l'on regarde dans l'intérieur du prisme, on ne pourra apercevoir aucun des objets placés au dessous de A D; mais on apercevra, par réflexion totale, sur la face A D tous les objets placés au dessus et au devant d'elle. D'où il suit que des points D ou D′ on verra cette face comme un miroir brillant dans toute son étendue.

Concevons maintenant que sur la face horizontale A D on ait fait adhérer une petite goutte de liquide, qu'on y ait collé un petit fragment de membrane transparente ou même un petit morceau d'un corps opaque. Si nous désignons par N l'indice de réfraction du prisme et par N′ l'indice de réfraction de la substance adhérente à sa face, nous remarquerons d'abord que, en regardant dans le prisme par les points D ou D′, il y aura des positions dans lesquelles toute la face continuera à former miroir, et d'autres dans lesquelles la place occupée par le petit corps paraîtra comme une tache noire. Ce dernier fait prouvera que les rayons cessent de se réfléchir sur la face A D et la traversent seulement dans le point où se trouve placé le corps étranger. Et en effet l'indice de réfraction de la substance du prisme par rapport au corps étranger appliqué à la surface, est exprimé par $\frac{N}{N'}$. Cet indice sera donc moindre que l'indice de réfraction du prisme lui-même, l'angle limite sera plus petit, et, par conséquent, la lumière pourra traverser du crown-glass dans le corps étran-

ger sous une incidence qui n'aurait pas permis son passage du crown-glass dans l'air.

Si l'on abaisse successivement le point par où on regarde dans le prisme, il y aura un moment où la tache noire disparaîtra, et ce degré d'obliquité donnera précisément l'angle limite pour le passage d'une substance dans l'autre, et par conséquent le rapport des deux indices de réfraction, d'où l'on peut déduire l'indice de réfraction de la substance nouvelle en connaissant l'indice de réfraction de la substance du prisme.

Pour établir de semblables recherches, il est nécessaire de connaître les angles limites de quelques substances.

Nous en donnerons la table suivante :

Noms des substances.	*Indices de réfract.*	*Angles limites.*
Chrômate de plomb. . . .	2,926.	19°,59′
Diamant.	2,470.	23 ,53
Soufre.	2,040.	29 ,21
Zircon.	2,015.	29 ,45
Grenat.	1,815.	33 ,27
Spinelle.	1,812.	33 ,30
Saphir.	1,768.	34 ,26
Rubis.	1,779.	34 ,12
Topaze.	1,610.	38 ,24
Flint.	1,600.	38 ,41
Crown.	1,533.	40 ,43
Quartz.	1,548.	40 ,15
Alun.	1,457.	43 ,21
Eau (liquide).	1,336.	48 ,28
Eau (glace).	1,310.	49.46

On voit par ce tableau pourquoi, dans l'exemple précédamment cité, le prisme supposé de crown-glass ne permet

pas à un rayon pénétrant par la face A B de sortir par la face D B, puisque son angle droit ou égal à 90° est plus grand que le double de son angle limite qui est 40° 43′. Il n'en serait pas de même d'un prisme d'eau liquide ou de glace. On voit aussi que des prismes équilatéraux, formés de chrômate de plomb, de diamant ou de soufre, ne laissent jamais pénétrer la lumière à travers deux de leurs faces contiguës, puisque les angles d'un pareil prisme sont de 60° et que les angles limites de ces substances sont de moins de 30°.

On conçoit que la méthode de Vollaston est non-seulement remarquable sous le point de vue scientifique, mais qu'elle est même susceptible d'un assez grand degré d'exactitude, puisque la règle V V′ peut être placée à une assez grande distance du prisme, et présente des divisions très-petites, pendant que le voyant qui glisse sur sa hauteur peut se fixer exactement à l'angle où la tache noire disparait. Cela étant, on peut mesurer l'angle E o V, en conclure l'angle O E P qui est son complément; et cet angle pouvant être considéré comme celui d'incidence, on peut mettre sa valeur dans la formule $\frac{\text{Sin. P}}{\text{Sin. S}} = \text{N}$. On peut en déduire la valeur de l'angle S qui égale P′ E I, et par suite son complément E I Q = Q I L. Comme il est certain que L I est le rayon limite, on à : $\frac{\text{Sin } 90°}{\text{Sin L I Q}} = \frac{\text{N}}{\text{N}'}$ d'ou N′ = N sin. L I Q.

Un troisième moyen a été proposé par le docteur Brewster pour déterminer les indices de réfraction des liquides en petite quantité ou des corps mous translucides. Ce moyen est fondé sur cette proposition, que la distance focale d'une lentille est due 1° à la courbure de ses faces; 2° à la valeur de l'indice de réfraction de sa sub-

stance par rapport à l'air, en sorte que, si cet indice venait à diminuer, son foyer s'éloignerait, et que, s'il venait à augmenter au contraire, son foyer se rapprocherait.

Cela posé, supposons qu'une lentille soit appliquée par une de ses faces sur une lame de verre plane, et qu'entre les deux, pour remplir le vide qui existera nécessairement on introduise un peu d'eau : il est clair que les rayons qui pénétreront à travers la lame de verre la traverseront, ainsi que l'eau, sans déviation, mais que, en passant ensuite de l'eau dans la lentille, ils seront réfractés, non plus en raison de l'indice de réfraction de la substance de la lentille par rapport à l'air, mais en raison de l'indice de réfraction de la lentille par rapport à l'eau. Dans ce cas, par exemple, l'indice de réfraction sera moindre, et le foyer de la lentille sera porté plus loin.

On donne au petit volume de liquide plan d'un côté et concave de l'autre, qui remplit l'intervalle de la lentille et de la lame de verre, le nom de ménisque.

On peut mesurer les effets produits par la présence du liquide entre le plan et la lentille, soit en mesurant directement la distance focale de cette lentille, soit en comparant les divers grossissemens qu'elle produit, dans un microscope dont elle fait partie.

Il est facile de concevoir que si l'on observe successivement; une lentille seule, une lentille avec un ménisque d'eau pure, et une lentille avec un ménisque de toute autre substance liquide ou molle et translucide, on obtiendra des données qui permettront, à l'aide du calcul, de déterminer la valeur des indices de réfraction de chacune des substances qui auront servi à former les différens ménisques.

Cette méthode, fort ingénieuse, et que M. Brewster a employée pour déterminer les indices de réfraction des

humeurs et des membranes de l'œil, a, pour le cristallin et la cornée transparente, le grand inconvénient de comprimer ces tissus organiques, d'en changer conséquemment la densité aussi bien que la disposition relative des parties, et, par conséquent, de modifier d'une manière importante leur action sur la lumière. Il serait donc essentiel de vérifier les résultats du docteur Brewster en employant la méthode de Wollaston précédemment décrite, et qui n'est pas sujette aux mêmes inconvéniens.

Une dernière notion devient indispensable pour comprendre la question difficile de l'achromatisme de l'œil; c'est celle qui est relative au pouvoir dispersif que les corps réfringens exercent sur la lumière simple.

Nous avons déjà fait remarquer qu'un prisme quelconque écartait les uns des autres les sept rayons rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo et violet; de manière à changer l'image circulaire et blanche du soleil, par exemple, en une figure allongée, qu'on nomme spectre solaire, et qui présente toutes ces couleurs distribuées les unes à la suite des autres, et occupant des espaces inégaux. Dans ce moment, nous devons faire remarquer que les différentes substances dont on peut composer un prisme ne produisent pas un spectre dans lequel chaque couleur occupe des espaces égaux, ou même proportionnels à la longueur totale du spectre solaire; en sorte que pour telle substance la couleur rouge occupera un plus grand espace dans le spectre que pour telle autre, et ainsi pour chacune des couleurs considérées à part.

Pour mesurer de semblables effets, on a été réduit jusqu'à ces derniers temps à choisir à peu près le centre de chacune des couleurs du spectre solaire, et à déterminer l'indice de réfraction de ce rayon par la première des méthodes que nous avons décrites. Mais Frauenhofer a ré-

cemment découvert dans le spectre solaire des phénomènes particuliers très-curieux qui sont propres à faciliter ces recherches et à leur donner un degré d'exactitude inconnu jusqu'ici.

Si l'on reçoit dans une lunette le spectre formé par un prisme, on s'aperçoit que, indépendamment des sept couleurs reconnues jusqu'ici, ce spectre est barré transversalement d'une multitude de lignes noires ou brillantes, plus ou moins larges et foncées, qui sont désignées sous le nom de raies du spectre; au milieu de ces raies, on peut en distinguer sept qui sont plus remarquables que les autres, et qui en comprennent un très-grand nombre dans leur intervalle. Le spectre solaire, par exemple, présente six à sept cents raies noires plus ou moins prononcées et foncées, et diversement distribuées entre les sept principales qui divisent le spectre en espaces à peu près égaux.

Un fait fort remarquable, c'est que, pour la même lumière, celle du soleil par exemple, toutes ces raies noires conservent entre elles des rapports d'intervalle constans; quel que soit le prisme qui ait formé le spectre et la nature de la substance qui forme ce prisme, et quel que soit aussi l'angle refringent de ce prisme.

Si l'on répète cette observation avec des lumières provenant d'une autre source que le soleil, les résultats sont fort différens: ainsi la lumière d'une étincelle électrique donne des raies brillantes au lieu des raies noires de la lumière solaire; la plus remarquable de ces raies brillantes se trouve dans la couleur verte. La lumière artificielle produite par la combustion de l'huile, de l'hydrogène et de l'alcool, donne aussi des raies brillantes, mais autrement disposées que celles de la lumière électrique. Il s'en trouve deux très-remarquables dans le rouge et l'o-

rangé. Les lumières des planètes et des étoiles présentent des circonstances remarquables; celle de Vénus donne les mêmes raies que la lumière solaire; celle de Sirius donne des raies noires, mais elles sont tout-à-fait différentes de celle du soleil et des planètes.

Ce qui nous intéresse particulièrement dans ces découvertes récentes, c'est qu'elles fournissent le moyen de constater avec plus d'exactitude que par le passé l'indice de réfraction du spectre solaire. En effet, les sept raies principales que nous avons indiquées, occupant dans le spectre solaire des situations dont les rapports ne changent pas, on peut prendre ces raies pour point de mire, dans la mesure de l'indice de réfraction des différentes parties du spectre, au lieu de cette partie moyenne de chacune des couleurs qui laissaient beaucoup de vague dans les mesures.

L'auteur de ces découvertes remarquables en a fait immédiatement l'application en déterminant l'indice de réfraction des sept principales raies du spectre solaire pour un très-grand nombre de substances, et en même temps le pouvoir dispersif de chacune de ces substances.

On concevra parfaitement l'importance des données que nous venons de signaler pour la détermination d'un achromatisme quelconque, c'est-à-dire pour arriver à former une lentille qui donne une image, sans que cette image se trouve altérée par les colorations de l'iris. En effet toutes les substances dont la force réfringente est plus grande que celle de l'air peuvent concourir à former une lentille qui rassemble tous les rayons dans un foyer; mais comme les différentes substances réfringentes ne dispersent pas la lumière avec une intensité proportionnelle à la quantité totale de réfraction qu'elles opèrent, il s'ensuit que, en superposant plusieurs substances convenablement

choisies dans la structure d'une même lentille, celle-ci pourra conserver un pouvoir réfringent total et avoir un foyer, quoique les dispersions produites par les différentes substances soient compensées réciproquement et qu'en conséquence l'image soit dépourvue de couleurs ou que l'instrument soit devenu achromatique.

NOTE SUR LA VISION.

Les notions que nous avons rassemblés dans la note précédente peuvent éclairer la solution de quelques questions physiques qui se rapportent au phénomène de la vision. La principale de ces questions est sans contredit celle de l'achromatisme de l'œil. Nous donnerons d'abord les notions physiques qui peuvent être employées à la solution du problème.

Dimensions des parties de l'œil.

Rayon de courbure de la sclérotique.	10 à 11	mm.
Rayon de la cornée transparente. . .	7 à 8	
Diamètre de l'iris.	11 à 12	
Diamètre de la pupille.	3 à 7	
Epaisseur de la cornée transparente.	1	
Distance de la pupille à la cornée. . .	2	
Distance de la pupille au cristallin. .	1	
Rayon antérieur du cristallin.	7 à 10	
Rayon postérieur du cristallin. . . .	5 à 6	
Diamètre du cristallin.	10	
Epaisseur du cristallin.	5	
Longueur de l'axe de l'œil.	22 à 24	

Il faut remarquer, au sujet de ces courbures, que M. Chaus-

sat a trouvé que la surface courbe de la cornée transparente du globe de l'œil du bœuf n'était pas une portion de sphère, mais bien un ellipsoïde de révolution, dont le grand axe est situé d'avant en arrière; qu'il en est de même de la courbure du cristallin, qui d'ailleurs est plus grande en arrière qu'en avant; et qu'enfin la cornée transparente du cheval a présenté à M. Chaussat précisément la courbure ellipsoïde que Descartes avait déterminé comme devant obvier à l'oberration de sphéricité.

Pouvoir réfringent des parties de l'œil.

L'indice de réfraction des différentes parties de l'œil a été déterminé par divers auteurs : voici les résultats de M. Chaussat, qui coïncident à peu près avec les observations de Wollaston, de Brewster, etc., etc.

Cornée transparente.	1, 33
Capsule cristalline.	1,339
Humeur aqueuse.	1,338
Humeur vitrée. . . . . , ... , .	1,339
Couches extérieures du cristallin.	1,338
Couches moyennes du cristallin.	1,395
Partie centrale du cristallin.	1,420

En partant de ces données, il faut établir d'abord que les diverses parties transparentes de l'œil diffèrent très-peu sous le rapport de la puissance réfringente, en sorte que la principale action qui fait converger les rayons dans l'œil se passe au moment où la lumière pénètre de l'air extérieur dans la cornée transparente. C'est donc une er-

reur grossière, quoique généralement répandue, que de penser que le cristallin est la principale cause de la convergence des rayons au fond de l'œil. Cela ne saurait être, puisque sa densité et son pouvoir réfringent diffèrent très-peu des milieux entre lesquels il se trouve placé, savoir, en avant l'humeur aqueuse, en arrière l'humeur vitrée. Ainsi la cause principale de la convergence et de la formation d'un foyer dans l'œil est la convexité antérieure de la cornée, tandis que les dispositions particulières de l'humeur aqueuse du cristallin et l'humeur vitrée paraissent avoir pour but des modifications ou des perfectionnemens de cette action première.

En calculant les courbures et les forces réfringentes des milieux de l'œil, on est arrivé à déterminer que le foyer véritable de cette lentille composée ne se trouvait avancé ou reculé que d'une quantité extrêmement petite et qui ne dépasse pas l'épaisseur de la rétine, lorsque les objets sont placés à une distance infinie ou à dix pouces de l'œil; en sorte que la faculté de voir nettement à des distances si différentes serait beaucoup plus facile à concevoir qu'on ne l'a pensé jusqu'ici.

En considérant la courbure particulière du cristallin, et surtout l'accroissement de sa force réfringente, depuis sa circonférence jusqu'au centre, on peut concevoir avec une égale facilité la correction de l'oberration de sphéricité.

Il reste à examiner si les images formées au fond de l'œil sont privées de couleurs accidentelles, ou si l'œil est achromatique. Nous devons faire remarquer ici que nous possédons en partie les élémens de la solution de ce problème, mais qu'il nous en manque un de la plus grande importance. En effet, l'achromatisme résulte 1° de la nature des courbures combinées; 2° de l'indice de réfraction des substances superposées; 3° de la puissance dis-

persive de chacune de ses substances, pour les différentes parties du spectre.

Nous connaissons à peu près les courbures des différens milieux de l'œil; nous connaissons avec assez d'exactitude les indices de réfraction des différens milieux transparens de l'œil; mais il n'a encore été fait aucune recherche sur le pouvoir dispersif de ces différens milieux, et, par conséquent, ce dernier élément nous manque pour déterminer si l'œil tel que la nature l'a construit est vraiment et nécessairement achromatique.

Il est très-probable que l'œil jouit de la propriété particulière que nous venons d'indiquer : d'abord, parce que les images observées directement à la partie postérieure d'un œil de bœuf paraissent très-nettes et point irisées; en second lieu, parce qu'on ne concevrait pas l'utilité de cette complication de courbures et de milieux divers qui se succèdent dans l'œil avec tant de régularité et de constance, si elle n'avait pas pour objet la correction des aberrations de sphéricité et de réfrangibilité.

Nous observerons néanmoins que la correction de ces aberrations n'est par aussi indispensable qu'on pourrait le croire. En effet, le cristallin peut être extrait dans l'opération de la cataracte, et le sujet qui a subi l'opération peut voir distinctement en faisant usage de verres convexes; tous ceux qui font usage de verres convexes ou concaves, pour corriger la myopie ou la presbytie, voient distinctement les objets sans incertitude et sans coloration dans l'image, quoique ces verres ne soient pas eux-mêmes achromatiques, et produisent nécessairement les deux sortes d'aberration.

Il paraît donc certain que la rétine, affectée par des impressions fortes et précises, peut fort bien ne pas percevoir les impressions plus vagues et plus légères que pro-

duirait autour d'une image les nuances légères de l'irisation ou les pénombres résultant de l'aberration de sphésilité.

Pour concevoir ce phénomène physiologique, il suffira de rappeler quelques faits connus de tous les observateurs,

On distingue à peine un corps placé sur le même plan que la lumière vive d'un quinquet.

Après avoir regardé quelque temps une tache blanche sur un fond noir, si l'on regarde un fond blanc uni, on y voit une tache noir de la même grandeur que la tache blanche précédente.

Il arrive à chaque instant qu'en regardant en apparence simultanément un grand nombre d'objets divers, on n'en voit effectivement qu'un seul d'une manière distincte Cette circonstance tient à un phénomène de vision étranger à la physique, et qui consiste dans l'action de regarder, c'est-à-dire d'appliquer volontairement notre attention à saisir l'image d'un objet déterminé.

En général, on se fait une idée très-fausse de la vision; et on s'est laissé entraîner à beaucoup de difficultés imaginaires dans l'étude de cette fonction, faute de considérer que l'individu qui regarde ne regarde pas l'image qui est tracée sur sa rétine, mais perçoit séparément l'impression de chacun des rayons lumineux qui, partis de chacun des points de l'objet, viennent frapper la rétine dans des points différens; en sorte que c'est d'une manière tout-à-fait accidentelle qu'il y a une image dans l'œil, laquelle peut être vue par un œil étranger, et cela est si vrai que cette image n'a d'existence pour l'observateur qu'à cause de la légère opacité de la rétine, et que tous les rayons qui la forment sont dans l'état naturel complètement absorbés par la choroïde qui est placée derrière.

D'après ce que nous venons de dire, il est essentiel d'a-

bandonner l'expression reçue, *percevoir l'image d'un objet*, et il convient de lui substituer celle-ci, *percevoir l'impression de tous les rayons partis d'un objet éclairé.*

La nécessité que la rétine soit placée à l'endroit où l'image se forme ne dépend pas de la nécessité de l'existence de cette image pour la vision; elle dépend de cette autre nécessité, que tous les rayons partis d'un seul point d'un corps visible, et formant un cône dont la base s'appuie sur l'ouverture de la pupille, se trouvent de nouveau réunis sur la rétine en un point unique. A défaut de cette réunion, c'est-à-dire si la rétine n'était pas située au foyer de l'œil, on percevrait plusieurs points pour un seul existant dans l'objet, et de là une notion confuse de sa forme. Ainsi, c'est pour chaque point de l'objet pris à part que le foyer est nécessaire, et non pour la formation d'une image. Ainsi nous ne percevons pas l'image d'un objet, mais nous percevons une sensation partielle relative à chacun des points de la surface éclairée.

DISSERTATION

SUR

LES GÉNÉRALITÉS

DE

LA PHYSIQUE MÉDICALE,

ET SUR L'ORDRE A SUIVRE

DANS SON ENSEIGNEMENT.

En considérant la physique sous le point de vue où elle l'a été jusqu'ici, il semble au premier coup d'œil presque impossible d'en faire ressortir ce que l'on nomme des généralités, c'est-à-dire de poser des bases générales d'instruction qui puissent s'appliquer d'une manière utile à toutes les parties de la science.

En effet, l'ensemble de connaissances qui porte le nom de physique se compose de différentes parties qui forment chacune en quelque sorte une science à part et qui n'ont aucun lien commun; ainsi, la physique s'occupe de la matière en général, de ce que l'on nomme les propriétés des corps solides, liquides ou gazeux. Elle traite du calorique, de la lumière, de l'électricité, du magnétisme, de l'électro-magnétisme, de l'électro-dynamie, etc., etc.; et l'on ne découvre aucun rapport nécessaire entre la loi de la chute des corps et le théorème de Pascal sur la pression des liquides; la loi de Mariote, la capacité calorique; les axes de double réfraction des cristaux, le condenseur électrique; le galvanomètre, la direction de l'aiguille aimantée,

les mouvemens de rotation d'un conducteur galvanique sous l'influence de la terre, etc., etc.

Comment établirait-on en effet la moindre proposition qui fût susceptible d'une application générale à des ordres de phénomènes si différens, à des sciences qui ne paraissent avoir aucune connexion, comme l'hydrostatique et l'optique, l'acoustique et l'électricité?

Nous pensons cependant qu'en considérant la science qu'on nomme physique sous un point de vue plus large et plus philosophique qu'on ne paraît avoir essayé de le faire jusqu'ici, il ne sera pas impossible de renfermer dans un cadre commun des faits si disparates, de les rapporter à une méthode générale d'étude de la nature, de les réunir par un lien systématique, et de faire en un mot, de l'ensemble des diverses notions physiques, un corps de science où chaque partie entre nécessairement, trouve sa place assignée d'avance, et ne puisse être retranchée sans laisser une lacune évidente.

Si nous réussissons à enlacer ainsi par un lien commun tous les faits de la physique, nous croirons avoir fait une chose utile soit à la science en elle-même, soit à son enseignement : car si l'ordre qu'on adopte, si les idées purement systématiques qui servent à lier et à enchaîner les faits ne sont pas la science elle-même, si elles ne lui font pas faire de véritables progrès, elles offrent le grand avantage de donner du charme à l'étude en satisfaisant l'imagination en même temps que la raison, et de rendre par là cette étude d'autant plus facile que l'enchaînement des faits paraît plus nécessaire et plus complet; en sorte qu'un ordre systématique est encore un avantage, même lorsque le principe qui en est la base n'est pas démontré.

Dans le cas particulier qui nous occupe, la tentative que nous nous proposons de faire aura en outre le mérite

de rectifier un grand nombre d'idées qui sont encore tout entières dans le langage, dans les formes de la science et dans l'esprit de tous ceux qui l'étudient superficiellement, tandis qu'elles sont depuis long-temps rejetées par tous les bons esprits, et considérées sinon comme des erreurs démontrées, du moins comme de vaines suppositions.

La tâche que nous entreprenons est difficile, elle touche à la philosophie des sciences naturelles, elle doit l'embrasser en quelque sorte dans toutes ses parties; elle exigera à chaque instant l'emploi d'un langage tout nouveau dans ses formes, et plein de périphrases substituées, d'une manière très-défavorable au premier coup d'œil, à des mots simples, clairs et compris de tout le monde, quoiqu'ils n'expriment en effet qu'une idée fausse ou une supposition gratuite; nous réclamerons donc toute l'indulgence de nos lecteurs pour un travail médité, il est vrai, depuis long-temps, mais trop brusquement mis au jour pour avoir subi une élaboration convenable.

DE LA DÉFINITION DE LA SCIENCE.

Définir est en général rendre accessible à l'esprit une idée composée en la divisant en termes plus simples, ou seulement exprimer la nature propre de la chose définie et ses différences; mais il arrive très-fréquemment que la valeur primitive des expressions se modifie dans leur usage, et c'est ainsi qu'on entend généralement par définition d'une science l'expression de son but, ou l'indication analytique et succincte des objets dont elle s'occupe.

Sous ce point de vue il est très-important de définir une science, même pour celui qui en commence l'étude et qui, par conséquent, n'en possède encore aucune notion : c'est pour ainsi dire le seul moyen de lui indiquer

la route qu'il va parcourir, de diriger de prime abord ses idees dans le sens le plus convenable, de l'avertir en quelque sorte du genre d'opérations auxquelles son esprit va se livrer; et cette précaution n'est pas superflue, car on ne saurait éprouver aucun attrait pour entrer dans un sentier évidemment difficile et pénible quand on n'en peut juger ni la direction ni le but; nous ne partageons donc point l'opinion de M. Pouillet sur les définitions scientifiques.

La difficulté de définir la physique doit être fort grande, si nous en jugeons par la variété extrême des définitions que fournissent les ouvrages.

Brisson pense que la physique a pour objet de connaître les corps par leurs propriétés, par les effets qu'ils présentent à nos sens, et par les lois selon lesquelles s'exercent leurs actions réciproques, en un mot que la physique est l'art de connaître les effets et d'en développer les causes.

Haüy dit que la physique est la science de la nature, s'attachant ainsi au sens étymologique du mot.

M. Pouillet pense que la science ne doit pas être définie.

M. Despretz croit que la physique s'occupe de l'action moléculaire des corps s'exerçant à distance et sans changer les propriétés de ces corps.

M. Beudant veut que la physique ait pour objet l'étude des propriétés générales que présentent les matières inertes à l'état solide, à l'état liquide, à l'état de fluide aériforme et à l'état de fluide incoercible; il ajoute qu'elle examine aussi les actions mécaniques que les corps sous ces différens états peuvent exercer les uns sur les autres, et les diverses circonstances de leurs mouvemens.

M. Péclet dit que la physique a pour objet l'étude des

propriétés générales des corps pondérables et celle des fluides impondérables dont la matérialité n'est d'ailleurs qu'une hypothèse probable.

Il est important de relever pour la plupart de ces définitions une expression qui manque de justesse et qui conduit nécessairement à des idées erronées; nous voulons parler de l'expression *propriétés des corps*.

Il est évident qu'il n'y a dans la nature que deux choses : de la matière et des puissances qui agissent sur elle; il est certain d'autre part qu'on ne saurait donner le nom de *propriétés* qu'à des qualités, ou à des manières d'être qui soient absolument inhérentes au corps dont on parle, et qui subsisteraient dans ce corps, quand bien même toute espèce de force ou de puissance cesserait d'agir sur lui. C'est ainsi que l'étendue, la mobilité, la divisibilité, l'impénétrabilité, sont des propriétés de la matière, parce qu'on conçoit que cette matière subsisterait encore dans son intégrité et avec ses quatre propriétés, quand même toute espèce de puissance cesserait de la solliciter.

Il n'en est pas de même d'une foule de manières d'être particulières qui appartiennent à tel ou tel corps, dans tel ou tel état et qu'on a coutume de nommer abusivement propriétés de ces corps. L'élasticité n'est pas une propriété de l'acier; la dureté n'est pas une propriété du fer, la compressibilité n'est pas une propriété des fluides élastiques, pour deux raisons; d'abord parce que l'on conçoit l'acier sans élasticité, la matière d'un gaz sans compressibilité, le fer sans aucune apparence de dureté; ensuite parce que ces prétendues propriétés sont des effets qui résultent de l'action combinée de l'attraction et de la force répulsive sur la matière, en sorte que les prétendues propriétés en question ne sont en réalité que des phénomènes produits par des puissances agissant sur la

matière; ôtez les puissances, la matière reste, les phénomènes disparaissent : ces phénomènes n'appartenaient donc pas nécessairement à la matière; ils n'en étaient donc pas des propriétés.

Après avoir écarté de toute définition de la science une expression qui tendrait à donner des idées fausses, nous ferons remarquer que la physique, qui, dans le sens étymologique du mot, serait parfaitement définie la science de la nature, ne peut pas embrasser, dans l'état actuel de nos connaissances, les phénomènes de combinaison dont le caractère essentiel est le changement de nature du composé produit; phénomènes dont l'ensemble constitue, sous le nom de chimie, une science séparée, sinon complètement distincte.

Remarquons encore que la multitude des êtres naturels a donné naissance à une branche d'étude, qui, sous le nom d'histoire naturelle, a pour objet principal de classer ces productions, et de les disposer en groupes systématiques, de manière à pouvoir aisément les reconnaître et les distinguer les unes des autres.

A part ces deux exceptions, la physique embrasse tout le reste de la science de la nature, c'est-à-dire la connaissance de la *matière*, la connaissance des forces ou puissances qui la sollicitent, et enfin l'étude approfondie des phénomènes, c'est-à-dire des mouvemens de masses ou des mouvemens moléculaires qui sont produits par ces puissances quand elles sont appliquées isolément ou conjointement à la matière.

Ainsi la physique générale est la science qui traite de la matière, des puissances ou forces naturelles, et de tous les phénomènes qui résultent de l'action de ces forces.

En traçant les généralités qui font l'objet de cet essai, nous aurons par là même indiqué l'ordre naturel des

études physiques et de l'enseignement de cette science; et si quelque arbitraire subsiste encore dans le rang assigné à telle ou telle branche de ces études, chacune exigera néanmoins une place et ne saurait être retranchée sans laisser une lacune.

Le premier point des études physiques est évidemment de considérer la matière en elle-même, et en faisant abstraction de ses formes et de ses accidens, de constater et de démontrer ses propriétés; et l'on arrive ainsi à reconnaître qu'elle est étendue, divisible, impénétrable et mobile; cette dernière expression comportant par elle-même le fait de l'inertie, qui ne peut être appelé ni propriété ni puissance, qui n'est qu'une négation, et qui indique seulement l'aptitude à être mue indistinctement et indéfiniment sans pouvoir ni agir ni résister.

Peut-être devrait-on ajouter à ces quatre propriétés inhérentes à toute matière un cinquième mode de son existence qui paraît tout aussi constant, tout aussi intimement attaché à son essence, et tout aussi indépendant de l'action de toute puissance, qu'on pourrait désigner par le mot configuration.

En effet, quoique la configuration des dernières particules de la matière échappe dans une multitude de circonstances à l'action de nos sens, comme à celle de nos meilleurs instrumens, il n'en reste pas moins théoriquement démontré que les atomes matériels ont des figures constantes, indélébiles, et qui apparaissent toujours par l'accumulation régulière de ces atomes, quand ils sont en pleine liberté de se réunir et de s'agglomérer spontanément pour former un corps d'un volume appréciable.

Après avoir observé ce que par abstraction la matière peut offrir à nos études quand elle n'est sollicitée par aucune puissance, il devient nécessaire d'examiner quelles

sont les forces qui doivent exister dans la nature, ou dont nous sommes contraints de supposer l'existence, pour nous rendre un compte plus ou moins complet de l'ensemble des phénomènes naturels.

DES FORCES OU PUISSANCES NATURELLES.

Nous sommes obligés de nous résigner à ignorer probablement pour toujours ce que c'est qu'une force ou une puissance ; nous ne pouvons en prendre aucune idée, nous n'en possédons aucune notion qui ne nous vienne d'un effet ou d'un mouvement que nous remarquons, que nous mesurons, dont nous recherchons toutes les modifications, et que nous attribuons à une cause que nous nommons force. Si le mouvement est considérable, nous disons que la force est grande; si nous lui découvrons une direction, nous attribuons cette direction à la force elle-même, etc., etc.

Cette manière de faire des suppositions de forces est une méthode de philosopher que Newton a adoptée, qu'il a pris soin de justifier, soit par des préceptes, soit par des exemples, et qui depuis ce grand homme a été généralement suivie par tous les physiciens.

Il en résulte qu'il existe, ou que nous supposons qu'il existe, un assez grand nombre de puissances naturelles que nous regardons comme les causes des phénomènes. Il arrive assez souvent, il est vrai, qu'une série de phénomènes paraît, à une époque de la science, exiger la supposition d'une force nouvelle, tandis qu'à une époque postérieure on trouve moyen de rattacher cette série de faits à une autre série déjà expliquée par une autre supposition déjà faite, en sorte que le nombre des forces admises diminue pendant que la science se perfectionne.

C'est ainsi que la théorie de l'aimant est rentrée dans le domaine électrique, et que les forces électriques elles-mêmes suffiront sans doute un jour pour expliquer la série des faits chimiques, et seront avantageusement substituées à tout ce qu'on nomme encore aujourd'hui affinité.

Quoi qu'il en soit, dans l'état actuel de connaissances, il est nécessaire d'admettre, pour comprendre presque tous les phénomènes naturels :

L'attraction;

La force répulsive générale attribuée au calorique;

Des forces développées par les corps lumineux pour mettre en vibration l'éther, et produire des phénomènes de lumière;

Des forces d'attraction et de répulsion qui surviennent entre des corps amenés à l'état électrique et qu'on suppose s'exercer entre deux fluides contraires;

Une force électromotrice qui met en mouvement ces fluides dans deux sens opposés;

Une force répulsive dans les parties d'uu même courant pour expliquer l'électromotion;

Enfin des forces particulières qui se développent exclusivement dans les êtres organisés et vivans, et qu'on peut nommer vitales ou organiques.

Puisque les forces dont nous supposons l'existence sont à nos yeux les causes des phénomènes, ce sera une bonne méthode pour classer ces derniers que d'établir entre ces diverses forces des distinctions bien tranchées.

On peut diviser toutes les puissances naturelles en trois classes :

La première classe renferme les puissances qui sont permanentes dans la nature, et qui conséquemment agissent toujours et partout sur la matière, quels que soient son état et ses accidens.

Les forces qui rentrent dans cette classe sont l'attraction et la force répulsive générale qu'on a coutume d'attribuer au calorique.

La deuxième classe renferme les puissances naturelles qui ne sont pas permanentes, qui ne se développent que dans certains états de la matière et sous l'empire de certaines influences : elles sont en quelque sorte conditionnelles, et ont ceci de caractéristique, que nous connaissons bien les conditions de leur développement; que nous sommes en conséquence maîtres de leur donner naissance à volonté; ainsi que d'en modifier l'intensité. Il faut ranger dans cette classe 1° la force motrice qui fait vibrer l'éther, et qui naît de la combustion, du frottement, et d'un grand nombre d'autres causes qui sont à notre disposition;

2° Toutes les forces qu'on nomme communément électriques, et qui se développent par le frottement, par le contact, et en général par presque tous les rapports intimes que tous les corps différens peuvent avoir entre eux.

3° La troisième classe comprend les puissances qu'on peut nommer vitales ou organiques : ces forces sont accidentelles, et leur existence est conditionnelle comme dans la classe précédente, mais avec cela de particulier, que nous connaissons mal les conditions qui permettent leur développement et que nous sommes tout-à-fait hors d'état de les produire à volonté. Si néanmoins nous réussissons parfois à les modifier, c'est par des voies purement empiriques, et jamais par des moyens méthodiques.

ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES.

La classification précédente une fois admise, l'ordre à suivre dans l'étude des phénomènes que présente la ma-

tière soumise à l'action des puissances est naturel et nécessaire : l'on devra considérer la matière soumise à la fois aux actions inséparables de l'attraction générale et de la répulsion du calorique; on découvrira bientôt que, sous cette influence, la matière présente trois grandes modifications qui constituent les états de solide, de liquide et de fluide aériforme; on découvrira dans les solides des manières d'être particulières qui ne sauraient dépendre que du degré ou du mode d'action, soit de l'attraction, soit de la force répulsive; le mouvement des planètes dans leur orbite, la chute des corps sur le globe, les phénomènes du pendule découleront des effets de la gravitation; la ténacité, la dureté, la fragilité, l'élasticité, la compressibilité, l'extensibité, la ductililité, mal à propos considérées comme des propriétés des corps, se développeront comme conséquences de l'action des deux puissances permanentes.

Les liquides exerceront des pressions, s'écouleront par des ouvertures, circuleront dans des canaux, entretiendront les équilibres divers, suivant la nature des espaces où on les enfermera, le tout comme conséquence des lois de la pesanteur agissant sur des particules matérielles rapprochées par l'attraction, mais librement mobiles autour de leur centre réciproque.

Les fluides élastiques présenteront la matière libre dans la plupart des cas de l'attraction moléculaire, et livrée toute entière aux effets de la force répulsive, dont ils présenteront en quelque sorte le type dans toute sa pureté.

Cette série de notions sur les phénomènes que présentent les corps solides, liquides ou gazeux, ne compléteraient pas encore à beaucoup près leur histoire, car lorsqu'une puissance étrangère et d'une origine quelconque vient à agir sur une masse matérielle, solide, liquide

ou gazeuse, la matière obéit à son impulsion avec des circonstances fort différentes suivant l'état particulier où elle se trouve, ou ce qu'on appelle souvent la constitution des corps.

Ainsi les lois abstraites et mathématiques de la dynamique et de la statique devront être, chemin faisant, appliquées aux corps solides, liquides ou gazeux, et dans toutes leurs variétés secondaires, pour observer les modifications que ces lois absolues subissent dans leurs effets, eu égard à la constitution particulière de chaque corps; c'est ainsi que des corps solides élastiques se communiqueront un mouvement acquis quelconque avec des résultats bien différens; c'est ainsi qu'un liquide transmettra d'une manière particulière et très-remarquable une pression quelconque qui sera exercée sur une de ses parties;

C'est ainsi qu'un fluide élastique mobile et compressible à la fois dans tous ses points par l'action de la plus faible puissance, se mouvra en masse, s'agitera dans toutes ses parties, et pourra même éprouver et transmettre ses agitations moléculaires que notre oreille appelle des sons; et dont les lois si nombreuses et si intéressantes font une science tout entière sous le nom d'acoustique.

Nous disons que ces phénomènes et ces modifications qui résultent de l'exercice constant et simultané des deux grandes puissances opposées de la nature, doivent être étudiés successivement et séparément dans les solides, dans les liquides, et dans les gaz : cette méthode peut entraîner, il est vrai, à quelques répétitions; mais elle porte sur des principes tellement essentiels à bien inculquer dans l'esprit, que ces répétitions ont plus d'avantages que d'inconvéniens.

La force répulsive qu'on a coutume d'attribuer à la pré-

sence du calorique est si importante dans ses effets qu'il est bon de l'étudier à part, et de rechercher avec soin toutes les modifications que la matière en éprouve quand on fait varier son intensité.

On présente ordinairement ces notions sous le titre de *Traité du Calorique;* on ferait mieux de les intituler :

Étude spéciale des effets de la force répulsive générale que l'on a coutume d'attribuer au Calorique.

Néanmoins on a tellement contracté l'habitude de considérer le calorique comme un corps, de voir un accroissement de sa quantité partout où la force répulsive s'accroît, et une diminution quand elle s'affaiblit; le langage adopté est d'ailleurs tellement différent de celui dont on serait obligé de faire usage, en supprimant la supposition gratuite de l'existence du calorique comme corps, qu'il est pour long-temps indispensable de conserver le même langage, en se pénétrant bien toutefois de l'idée que toutes les expressions usitées sont des figures, et qu'on veut dire seulement que les choses se passent comme s'il y avait un fluide calorique, comme s'il s'accumulait, comme s'il se communiquait, comme s'il était absorbé, combiné, dégagé, etc.

DEUXIÈME PARTIE DE LA PHYSIQUE.

L'ensemble des faits que nous avons jusqu'ici pris en considération forme une première partie de la physique entièrement distincte, et comprenant tous les phénomènes que peut présenter la matière sous les influences exclusives des forces permanentes d'attraction et de répulsion.

La seconde partie comprendra les phénomènes que présentera la matière, lorsque, indépendamment des deux

puissances permanentes, elle sera encore soumise à l'action de chacune des puissances accidentelles, que nous avons pris soin d'énumérer; chacune de ces puissances donnera lieu, lors de son développement, à une série de faits qui constituera une des subdivisions de la deuxième partie de la physique.

OPTIQUE.

Si l'éther est mis en vibration par un corps dans les conditions convenables, les autres corps deviendront visibles, des sensations nouvelles seront perçues par un organe destiné à les recueillir et à les analyser : ces phénomènes s'arrêteront à la surface de certains corps, et se reproduiront en dehors de leur masse; d'autres fois, ces phénomènes continueront à s'opérer à travers les masses les plus compactes, comme si leur substance était indéfiniment perméable : des considérations d'intensité, de vitesse et de direction dans les mouvemens produits par cette force suffiront pour expliquer, calculer et prévoir tout cet ensemble de phénomènes; on aura étudié l'optique divisée en catoptrique et dioptrique.

ÉLECTRICITÉ.

S'il arrive qu'un corps quelconque, isolé momentanément de tous les autres, soit frappé ou frotté dans des conditions convenables, il se développera en lui ou autour de lui des forces nouvelles d'attraction et de répulsion : on imaginera, pour exposer commodément les effets de ces forces, l'existence de deux fluides qu'on regar-

dera comme animés d'actions contraires, et tous les phénomènes de l'électricité ordinaire se dérouleront successivement.

GALVANISME.

Si deux métaux viennent à se toucher, et que les organes encore sensibles d'un animal récemment mort soient mis dans un rapport convenable avec ses deux métaux, les nerfs sembleront reprendre leurs fonctions suspendues, les muscles se contracteront de nouveau comme pendant la vie; il se sera développé au point de contact des deux substances métalliques une puissance nouvelle tout-à-fait différente des forces électrique, attractive et épulsive précédemment observées, et qu'il faudra nommer électromotrice, puisqu'elle semble séparer incessamment, et repousser toujours dans deux directions opposées les deux fluides électriques dont on a déjà été conduit à supposer l'existence.

En développant et recherchant avec soin toutes les circonstances dans lesquelles cette force se développe, et tous les effets qu'elle produit, on aura étudié l'électricité galvanique.

ÉLECTROMOTION.

Si, en vertu de l'existence de la force électrometrice dans un appareil déterminé, des courans continus sont établis dans des conducteurs appropriés, on découvrira que ces conducteurs sont donés de puissances, qu'ils s'attirent ou se repoussent réciproquement, qu'ils attirent le

fer, qu'ils dérangent de sa direction une aiguille déjà aimantée, qu'ils communiquent la force directrice à une aiguille qui ne l'est pas encore, qu'ils subissent des influences constantes de la part du globe lui-même, qu'il suffit de leur donner une configuration convenable pour qu'ils deviennent de véritables aimans; en un mot, les faits nombreux de l'électromotion et de l'électromagnétisme se présenteront en foule; et il arrivera un homme d'un génie profond qui rattachera tous ces faits à l'existence et à l'exercice d'une seule et même puissance, consistant en un état de répulsion, uniforme et constant, de toutes les parties d'un même courant.

PHYSIOLOGIE.

La dernière classe des puissances naturelles renfermant celles qui sont temporaires, accidentelles, soustraites dans leur naissance et dans leur intensité à la volonté du physicien, constituerait la dernière et la plus difficile de toutes les parties d'un traité de physique, si cette malheureuse circonstance de l'impossibilité de produire, de faire varier à volonté et de mesurer les puissances vitales, n'avait jusqu'ici retenu la physiologie hors du cadre des sciences physiques; la difficulté a été prise pour l'impossibilité, et la science de la vie n'a cessé d'errer de système en système, en s'éloignant toujours de la marche et de la méthode qui depuis Galilée a porté les sciences physiques à un si haut degré de perfectionnement.

Quoique tous les bons esprits s'efforcent aujourd'hui de rapprocher la science de l'homme des autres connaissances naturelles, elle ne demeure encore que trop distincte, et cette seule considération suffirait pour justifier

et nécessiter l'existence d'une science et d'un enseignement mixte, qui a pour objet de rattacher la science de l'homme à la physique, et qu'on a coutume de désigner sous le nom de physique médicale.

PHYSIQUE MÉDICALE.

C'est une expression consacrée depuis un certain nombre d'années, que celle de *sciences médicales* donnée à l'ensemble des connaissances si variées qui sont indispensables au médecin. On les distingue même en sciences médicales accessoires et en sciences médicales essentielles. C'est dans ce sens que la physique, considérée et enseignée dans l'intérêt et dans la direction des études médicales, porte le nom de physique médicale.

On pourrait croire, au premier coup d'œil, que, la physique étant une science positive, elle n'a pas deux modes d'enseignement, qu'elle doit fournir les principes absolus que les médecins sont ensuite chargés d'appliquer aux besoins de leurs recherches particulières.

Cette proposition pourrait être juste, si les rapports de la physique avec la science de l'homme étaient déjà établis d'une manière complète ou du moins très-étendue. Mais il n'en est point ainsi; les applications de la physique à l'étude de l'économie animale sont, dans l'opinion d'un grand nombre de physiciens et de médecins, restreintes à un petit nombre de cas où l'évidence a surmonté des préjugés auxquels l'école des vitalistes a donné naissance.

Il n'est donc point question d'enseigner ou d'apprendre les applications reconnues et déterminées de la physique à la science de l'homme; il s'agit au contraire de recher-

cher, de découvrir et d'étendre ces applications. Cette tâche est difficile, elle exige des connaissances physiques étendues et précises, et des notions non moins complètes dans toutes les branches de la médecine et particulièrement en physiologie.

On peut donc dire que l'existence d'expérimentateurs, de livres et d'enseignement de physique médicale est au moins une nécessité transitoire, et qu'il est à désirer qu'un certain nombre d'hommes s'occupent expressément des rapports trouvés ou à découvrir entre la physique et les autres sciences médicales, jusqu'à ce que tous les rapports possibles soient aussi bien déterminés qu'ils peuvent l'être.

Si le devoir de ceux qui s'occupent de physique médicale est de rechercher, de découvrir et de constater les rapports de la physique avec les autres branches de la science de l'homme matériel, il devient essentiel de déterminer la nature possible de ses rapports, afin d'assurer la marche des investigations.

La physique est applicable à la science de l'homme vivant sous trois points de vue différens :

1° Sous le point de vue philosophique, c'est-à-dire quant aux méthodes qui peuvent être employées à l'étude et au perfectionnement soit de la physique, soit des différentes branches de la médecine, et surtout de la physiologie, qui serait la base de toutes les connaissances médicales si elle avait fait des progrès suffisans ;

2° Sous le point de vue des rapports d'appareils ou de conditions d'arrangement matériel qui peuvent se trouver entre des machines imaginées par les physiciens pour obtenir certains résultats, et la structure organique que présente avec tant de constance et de régularité l'anatomie des corps organisés ;

3° Enfin sous le point de vue des analogies de phénomènes; sujet vaste et rendu très-difficile pour des raisons que nous développerons bientôt.

APPLICATIONS PHILOSOPHIQUES.

Le plus grand service que la physique puisse rendre à la science de l'homme, est sans contredit de lui transmettre ses méthodes rigoureuses, et la manière de raisonner, qui l'a rapidement conduite à un très-haut degré de perfection.

L'opinion que nous émettons ici est si directement contraire à celle des vitalistes, qui compte encore beaucoup de partisans, et qui veut séparer complètement la science de la vie des autres sciences naturelles, que nous ne croyons pas inutile d'appuyer notre proposition de quelques raisons principales.

Entre deux sciences comme la physique et la physiologie, il est facile de reconnaître celle qui a fait le plus de progrès; ce sera évidemment celle qui sera parvenue à expliquer le plus grand nombre de faits par le plus petit nombre de suppositions, et sous ce point de vue l'avantage est tout entier du côté de la physique.

Ce fait une fois constaté, il faudra conclure que la manière de philosopher des physiciens a été supérieure jusqu'ici à celle des physiologistes, et qu'il y aura à l'avenir un grand avantage à substituer l'une à l'autre.

Pour éclaircir ces idées abstraites, nous emploierons quelques exemples.

Les physiologistes vitalistes, en voyant les animaux conserver une température à peu près fixe sous l'empire de températures extérieures très-variées, ont supposé une

force, une propriété, une action vitale (on est embarrassé pour le choix du mot), en vertu de laquelle les animaux résistaient également à des acquisitions et à des pertes de calorique. Comme si Newton, observant à la fois dans la nature des attractions et des répulsions, avait imaginé de les attribuer à une seule et même puissance. On voit que les vitalistes, en suivant le principe de la supposition des causes agissantes, n'ont été ni heureux ni rigoureux dans l'application de ce principe.

Les partisans modernes de l'organisme se sont écartés bien davantage encore des principes actuellement consacrés de la philosophie naturelle : ils veulent trouver dans l'arrangement matériel, et dans l'organisation même, la raison suffisante et la cause des actions; comme si un physicien, observant la force directrice dans une aiguille d'acier aimantée, attribuait les phénomènes produits à un arrangement nouveau dans les particules de l'acier, au lieu de supposer une influence active, de nature inconnue, il est vrai, mais dont la loi se découvre, se calcule, et satisfait à tous les résultats.

La physiologie renouvelle en ceci les propriétés occultes des anciens, système proscrit par Newton, et qu'aucun esprit exact ne songerait à faire renaître.

Le physicien observe des faits; quand ils sont réunis en certain nombre, il suppose l'existence d'un agent actif qui doit les produire; il recherche les conditions dans lesquelles cette puissance se développe, et les lois suivant lesquelles elle doit agir pour satisfaire à l'explication du plus grand nombre ou de la totalité des faits observés.

Le physiologiste ne nous paraît pas devoir suivre une autre marche.

ANALOGIES D'APPAREILS.

La recherche des analogies d'appareils ou de dispositions matérielles entre les machines du physicien et l'organisation des animaux, est un objet de recherche du plus grand intérêt.

L'appareil locomoteur et ceux des organes des sens présentent des exemples très-frappans de ce genre d'analogie; mais les similitudes ne doivent être adoptées qu'avec la plus grande circonspection : les erreurs commises en ce genre ont le grand inconvénient de discréditer tous les genres d'application d'une science à l'autre. C'est pourquoi des connaissances physiologiques très-particulières et très-étendues sont indispensables pour se livrer sans danger à de pareilles comparaisons. C'est ainsi que l'œil a toujours été regardé comme une chambre noire, et qu'on a toujours attribué à la couleur foncée de la choroïde un grand degré de perfection dans la vision, en tant qu'elle éteint les rayons lumineux après qu'ils ont une fois traversé la rétine, et arrête toute lumière vague qui pourrait se mouvoir dans la cavité de la sclérotique. Néanmoins le phénomène observé de plus près, il paraît résulter des recherches de M. Desmoulins que les animaux dont la vue est plus parfaite ont une choroïde éclatante qui force la lumière à passer plusieurs fois à travers la rétine.

On ne serait pas tombé dans cette application si spécieuse des usages de la choroïde foncée, si l'on avait tenu compte de ce fait physiologique, bien établi, que le sens de la vision est toujours affecté d'une image nette, nonobstant l'action de toute autre lumière vague, ou la présence de toute autre image indécise.

Le système nerveux compliqué de l'homme offre un grand exemple d'analogie de structure avec les appareils galvaniques. Les rapports des nerfs avec les muscles portent même cette analogie jusqu'aux appareils d'électromotion; mais ce ne doit être qu'avec le plus grand scrupule que cette analogie passe comme un fait dans la science, et on ne saurait trop multiplier les expériences propres à la constater ou à la combattre, avant d'adopter des idées qui paraissent si séduisantes.

Nous ne pouvons nous refuser ici à citer un exemple, qui montre à la fois jusqu'à quel point des phénomènes de physique s'approchent des phénomènes de la vie, et combien il est essentiel de bien choisir la méthode de raisonnement qu'on emploie dans les deux sciences.

Si l'on prend une cuve prismatique d'une forme allongée, et qu'on la remplisse d'un liquide acidule; si l'on plonge dans ce liquide un certain nombre de plaques de cuivre et de zinc se succédant alternativement, et si l'on fait communiquer par un conducteur métallique la première plaque de cuivre avec la dernière plaque de zinc, on aura toutes les conditions matérielles d'une pile galvanique, cependant on n'observera aucun des phénomènes de cette pile. Mais si l'on vient à mettre en contact chaque plaque de cuivre avec chaque plaque de zinc, en isolant les bords de ces couples, il s'établira aussitôt un courant dans le conducteur; il se dégagera de l'oxide d'azote si l'acide employé est de l'acide nitrique; cet oxide d'azote pourrait régénérer l'acide nitrique décomposé en s'unissant à l'oxigène de l'air; et si l'eau et le zinc étaient incessamment renouvelés, on aurait, si nous osons nous exprimer ainsi, un appareil vivant, c'est-à-dire exécutant une fonction ou une série de phénomènes non discontinués moyennant l'influence de l'air, un véhicule

aqueux et une sorte d'alimentation dans le remplacement du zinc dissous, pendant que le nitrate de ce métal, s'écoulant sans cesse, formerait le produit excrémentitiel de l'appareil.

Il est évident que, dans les suppositions que nous venons de faire, la circonstance particulière du contact des deux métaux représente assez bien l'organisation, que cet arrangement spécial est la condition du phénomène, mais qu'en bonne physique il faut en chercher la cause dans la force électromotrice qui se développe au contact et seulement au contact des deux métaux différens.

C'est ainsi que nous considérons les animaux comme des appareils complexes, qui rétablissent et entretiennent eux-mêmes les conditions de leur action en s'emparant d'élémens pris à l'extérieur et rejetant les produits devenus inutiles, l'organisation n'étant dans ces appareils que la condition nécessaire de l'exercice de la fonction, pendant que des puissances développées dans ces mêmes appareils doivent en être considérées comme les causes actives.

ANALOGIES DE PHÉNOMÈNES.

C'est un point difficile et important que de reconnaître l'analogie de phénomènes, ou d'effets produits par les organes des êtres vivans et entre des corps inertes; la difficulté naît principalement de ce que les conditions sous lesquelles les corps qui se rencontrent et peuvent réagir les uns sur les autres, sont peu connues. Au premier aperçu, les résultats semblent tellement différens qu'on a été jusqu'à soutenir qu'ils étaient opposés, et que la vie n'était autre chose qu'une lutte perpétuelle de l'or-

ganisation contre l'influence des lois qui régissent la matière morte. Nous pensons qu'en analysant avec plus de soins et d'attention, qu'on ne l'a fait jusqu'ici, les phénomènes et les produits matériels des organes vivans, on parviendra à constater que l'organisation et les forces nouvelles qui s'y développent, n'ont d'autre influence que de mettre les matières inertes dans des rapports tels, qu'en vertu des lois ordinaires qui régissent cette matière, des phénomènes soient produits qui n'auraient jamais pu l'être hors de l'organisation et faute de ces rapports spéciaux.

Quoi qu'il en soit, un grand nombre de faits se prêtent déjà à des comparaisons utiles, et c'est un des premiers devoirs du physicien-physiologiste que d'étendre aussi loin que possible l'explication des phénomènes de la vie par l'influence des lois générales de la nature, puisque l'ensemble des explications de cet ordre, obtenues jusqu'ici, constitue en réalité la seule physiologie positive.

OBSERVATIONS.

On a dû remarquer que, dans ces généralités, nous avons suivi la méthode synthétique, au lieu de la méthode analytique plus souvent employée dans les livres et l'enseignement des sciences; nous pensons en effet que cette marche est certainement plus avantageuse dans l'enseignement élémentaire, qui ne doit présenter les faits que comme des déductions de principes et de lois générales, en ne plaçant les méthodes de découverte et les exceptions qu'en seconde ligne et comme observations.

Nos généralités indiquant suffisamment l'ordre à suivre

dans l'enseignement de la science, nous renvoyons au livre que nous avons publié sur la matière, pour les détails de cet ordre, et surtout pour déterminer le degré d'importance et d'étendue des développemens que l'on doit donner à chaque partie de la science, quand on a pour objet spécial l'instruction des élèves en médecine.

FIN DU DEUXIÈME ET DERNIER VOLUME.

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE SECOND VOLUME.

A.

Aberration de réfrangibilité et de sphéricité.—Ce que l'on doit entendre par ces mots. Voyez *Lumière* (sa décomposition), 360.

Absorption. Lois de l'absorption du calorique rayonnant, 15. — Sont absolument les mêmes que celles du rayonnement, *ib.* — Servent à rendre compte d'un grand nombre de phénomènes naturels et à modifier les effets de la chaleur naturelle ou artificielle, 16. — Plusieurs exemples à l'appui de cette assertion, *ib.* et 17.

Achromatisme. Définition de ce mot, 360. — Substances employées pour composer les verres achromatiques, 361. — De l'Achromatisme de l'œil en particulier, 436.

Aimant. Des aimans naturels, 301 à 302. — Ce qu'on doit entendre par pôle *austral* et par pôle *boréal* de l'aimant, 302. — Manière d'augmenter considérablement la force attractive des aimans naturels et des aimans artificiels, 302 à 306. — Définition des mots *déclinaison, inclinaison* de *l'aiguille aimantée, méridien, équateur magnétique*, 303.— Comment Coulomb a déterminé l'intensité de la Force magnétique, 304. — Procédés divers à l'aide desquels on peut communiquer la propriété magnétique au fer et à l'acier, 305.

Arc-en-ciel. Comment on explique la formation des arcs-en-ciel solaires, 362 et 363.

Atômes. Leurs caractères électriques. Voyez. *Electricité galvanique*, 295 à 297.

Attractions et répulsions électriques. — Manière de s'en rendre compte, 183 — Leurs lois déterminées avec beaucoup de précision, par Coulomb, 184. — Suivent la même loi que l'attraction générale.—Expériences de Coulomb, 184 et 185. — Théorie de ces sortes d'attractions et de répulsions, 197 à 200.

B.

Bain électrique. Manière de l'administrer, 231 à 232.—Doit être rangé, comme agent thérapeutique, dans la classe des excitans généraux et momentanés, 232.

Batteries électriques.—Réunion de plusieurs bouteilles de Leyde, dans lesquelles on peut accumuler une grande quantité d'électricité, 213 et 214.

Bouteille de Leyde. Remplit les mêmes conditions que le condensateur et le carreau électrique, 211. — Sa construction, *ib.* et 212. — Ce qu'on doit entendre par

chargé par cascade, et comment on peut l'opérer, *ib.*, 213. — Ce qu'on appelle *faire la chaîne*, 234.

Brouillards. En quoi consistent ces météores qui s'emblent avoir beaucoup de rapport avec les nuages, 90 et 91.

C.

Calorifères. Doivent être considérés comme le seul moyen de chauffage pour les grandes maisons et les hôpitaux, 151.—Peuvent être échauffés directement par le feu, ou par des tuyaux incessamment remplis de vapeurs d'eau. — Manière de construire ces sortes de calorifères, *ib.* à 153. —Excellente méthode employée en Angleterre pour le chauffage d'un grand hôpital, et en quoi elle consiste, *ib.* et 154.

Calorimètre. Instrument destiné à déterminer le calorique spécifique des corps. — *Calorimètre de glace* de Lavoisier et de De Laplace, 105.—Sa description, 106 et 107. — *Calorimètre d'eau* de Rumfort. — Sa construction. — Est particulièrement applicable à la mesure du calorique spécifique des gaz et des vapeurs. — Manière d'en faire usage, 107.

Calorique.— Du calorique en général, 1 à 6.—Ne doit pas être regardé comme un être matériel, 2.— Possède un certain nombre de propriétés essentielles, *ib.*— Peut être considéré comme un corps. — Faits qui semblent prouver cette existence matérielle, *ibid.* — A été comparé aux fluides, 3. — Pourquoi il a été nommé *fluide impondérable et incoërcible*, *ibid.*—Est regardé comme formé de particules infiniment petites et parfaitement libres de se mouvoir les unes sur les autres.— Expérience à l'aide de laquelle on peut conclure que le poids du calorique, s'il existe, est inappréciable à nos balances, *ibid.*— Propriété dont jouit le calorique de se mouvoir en ligne droite, 4.— De sa tendance générale à se mettre en équilibre ou à se répandre uniformément entre les différens corps et les différens espaces, *ibid.* — Est doué d'attractions puissantes et variables pour les divers corps de la nature, *ib.* — Difficulté excessive d'apprécier les conditions de son affinité pour les corps, d'où les noms de *calorique libre* ou (*calorique de température*,) de *calorique latent* ou (*calorique combiné*,) 5. Existe en quelque sorte et pénètre tous les corps de la nature sans exception, *ib.* — Du calorique libre ou rayonnant, 6 à 17. —Faits vulgaires et expériences directes qui démontrent ce rayonnement, 6 et 7. — Explication de ce phénomène, 7. — Ce qu'il en faut conclure, *ib.*— Description de l'appareil dont on a fait usage pour découvrir les lois du rayonnement du calorique, 8.—Énoncé de ces lois, 9. — *Table* indiquant par des nombres, les rapports des pouvoirs rayonnans d'un assez grand nombre de substances, 10. — Modifications que peut éprouver ce rayonnement, suivant que la substance est parfaitement polie ou plus ou moins dépolie, ou suivant les divers enduits qu'on y applique, *ib.*— Conclusions qu'on en peut tirer, 11.— *Marche du calorique dans l'espace.* — Se meut en ligne droite, à la manière de la lumière, *ib.* — Difficulté de mesurer sa vitesse, 12.— Traverse les espaces remplis de fluides élastiques. — Se porte dans les corps solides, d'une molécule à l'autre, à travers les espaces qui doivent les séparer (théorie de De Laplace). — Ne se meut pas dans l'intérieur des liquides avec autant de facilité que la lumière, *ib.*— Son rayonnement modifié par la nature des fluides élastiques qui remplissent l'espace et

par la raréfaction de l'air, suivant des lois qui ne sont point encore bien déterminées, *ib.* — Expérience de Leslie, 13.—Ce qu'on en doit conclure, 14.—*Lois de l'absorption du calorique rayonnant*, qui se comporte diversement, suivant la nature, la forme et la couleur de la surface des corps, *ib.* — Expériences à l'aide desquelles on peut démontrer ces phénomènes, *ib.* — DE L'ACTION DU CALORIQUE SUR LES CORPS, SANS CHANGEMENT D'ÉTAT, 17 à 40.— Manière dont se comporte le calorique qui se répand dans l'intérieur d'un corps, 17.— Ce mode de transmission considéré dans les solides, dans les liquides et dans les gaz, 18. — De la conductibilité des solides, en particulier.— Est plus rapide dans les uns que dans les autres, 18. — Manière de déterminer, par expérience, ce degré de conductibilité dans un solide, 19 et 20.—Résultats principaux des diverses expériences faites, dans ce but, par M. DESPREZ, 20. — *Table* indiquant le *maximum* de conductibilité des différens métaux, 21. — De la conductibilité des liquides, 22. — Est extrêmement faible, comparativement à celle des autres corps, 22. — *De la conductibilité des gaz.* — Difficulté de la constater, 24. — Phénomènes auxquels donne lieu leur faculté de s'échauffer par le déplacement de leurs molécules, 24. — *Changement de volume des corps par le calorique*, 25 à 40.— Moyen à l'aide duquel on peut comparer d'une manière exacte les échauffemens et les refroidissemens, 25. — *Changement de volume des gaz.* — Leur dilatation, parfaitement égale pour un même nombre de degrés du thermomètre. — Méthode de M. GAY-LUSSAC, à l'aide de laquelle on prouve ce fait, 26 et 27. — Lois que cette méthode expérimentale a fournies, 27 et 28. — *Changement de volume des liquides*, 28. — Difficulté de mesurer leur dilatation avec exactitude. — *Table* des dilatations d'un grand nombre de liquides, 29 et 30. — Observations intéressantes que cette table fournit, 31. — Anomalie remarquable, présentée par l'eau liquide lorsqu'elle approche du terme de la congélation, 32. — *Table* de l'expansion de l'eau, d'après GILPIN et KIRWAN, 33.—*Table* de la contraction des liquides, par M. GAY-LUSSAC, 34. — *Changement de volume des solides*, 35 à 40.— Est beaucoup moins considérable à différentes températures que celui qu'éprouvent les liquides. — Manière de déterminer leur dilatation, 35 à 37. — *Table* de la dilatation linéaire des solides par la chaleur, 37 à 39. — Conclusions auxquelles elle conduit, 40. — DU CHANGEMENT D'ÉTAT DES CORPS PAR LE CALORIQUE, 40 à 94. — *De la fusion ou liquéfaction des solides*, 41 à 48. — Ce qu'on doit entendre par *fusion* et par *terme de fusion*, 41. — *Table* des températures auxquelles différens corps passent de l'état liquide à l'état solide, ou de l'état solide à l'état liquide, 44 et 45.—*De la solidification des liquides*, 46. — Manières différentes dont elle s'opère, 46. — Phénomènes remarquables présentés par l'eau à cet égard, 46 à 48. — DE LA CONVERSION DES LIQUIDES EN VAPEURS, 49 à 55. — Comment ce phénomène a lieu, 49. — Définition des mots *évaporation spontanée*, *vaporisation*, *ébullition* et *évaporation*, 50. — De l'*ebullition* proprement dite. — Est soumise à trois influences. — Enumération des températures auxquelles bouillent certains liquides, 50 à 55.—*De l'évaporation spontanée.* — A lieu de la même manière, dans l'air, dans tous les gaz, et même dans le

vide.—Pourquoi, 55.—*De la conversion des vapeurs en liquides*, 55 à 57. — Causes déterminantes de ce phénomène, 55 et 56.— Influence des affinités chimiques sur la condensation des vapeurs, 56. —Des vapeurs, 57 à 64. — *Considérées dans le vide.* — Manière d'y déterminer leur formation, 57 et 58. — Lois de cette formation, 58.—Ce qu'on doit entendre par *tension* des vapeurs, 59. — Manières différentes de déterminer cette tension à des températures différentes et pour différens liquides, 59 à 62. — Expériences de M. Desprez et de M. Cagnard de La Tour, 62. — Série de *tables* relatives aux forces élastiques des diverses vapeurs à différentes températures, 65 à 71. — Conclusions que l'on en peut tirer, 71 à 73. — Du poids spécifique des vapeurs, 73.—Comment il a été exactement apprécié par M. Gay-Lussac, 73 et 74. — Peut être obtenu, du moins pour beaucoup de vapeurs, par la même méthode que pour les gaz composés, 74. — *De l'effet des hautes pressions sur les vapeurs*, 75 à 80. — *Application de la force de la vapeur aux effets mécaniques*, 76 à 80.—Additions à cet article 394 à 412.—*Du mélange des vapeurs avec les gaz*, 80 à 84. — *Applications météorologiques*, 85 à 94. — De la mesure du calorique, 94 à 116. — Moyens le plus généralement employés pour déterminer en quelles quantités il existe, se combine ou se dégage, 94 à 121. — Ce qu'on doit entendre par *calorique spécifique* et par *capacité calorique*, 104. — Méthodes diverses de déterminer le calorique spécifique des corps. — Méthode de Black et de Crawford, 105. — De Lavoisier et de De Laplace, *ib.*—Description de l'appareil employé à cet usage, *ib.* 106.—Méthode de Rumfort. — En quoi elle consiste. — Est particulièrement applicable à la mesure du calorique spécifique des gaz et des vapeurs, 107. — Méthode de MM. Petit et Dulong, 108. — Singulier rapport observé par ces deux savans entre les caloriques spécifiques des différens corps et leurs atomes. — Résultats de leurs recherches, 110. — Manière dont on a cherché à expliquer les nombreux changemens de température qui surviennent dans les combinaisons des corps, d'après leurs diversités de capacité calorique, 111.— Principaux résultats d'expériences sur la mesure du calorique spécifique des corps, *ib.* à 115. — De la mesure de la quantité absolue du calorique, 115 à 116. — De l'équilibre du calorique entre les corps, 117 à 121. — Des sources du calorique, 121 à 156. — Soleil, 122 à 124. —*Combustion*, 124.— *Plusieurs combinaisons chimiques*, *ib.* et 125. — *Choc.* — *Frottement*, *ib.* 126. — *Phénomènes électriques*, 126 et 127. — De la production du calorique par les combustibles, 127 à 156. — Nécessité d'établir une unité de chaleur pour mesurer comparativement les quantités de calorique produites dans diverses circonstances.—Ce qu'on doit entendre par *unité de chaleur* ou *calorie*, nom qui lui a été donné par M. Clément, 128 et 129. — Des divers *combustibles* en particulier, 129 à 142.—Détermination de leurs différens produits en calorique, lorsqu'on les brûle, 143 à 147. —Des appareils de combustion, et règles générales pour leur construction, 146 et 147. — Moyens divers mis en usage pour maintenir nos habitations à un degré de chaleur convenable à notre état de santé, 147 à 155. — Considérations hygiéniques sur ces différens modes de chauffer nos habitations, 155 et 156. — Des rapports du calori-

QUE AVEC LES ÊTRES VIVANS ET DE LA CHALEUR ANIMALE, 156 à 177. —Considérations générales sur le mode d'action du calorique sur l'homme en particulier, dans les principales circonstances physiologiques où il se trouve, 158 et suiv. — *De la chaleur animale*, 160 à 161. — Source de cette chaleur, 161. — Résultats des expériences de MM. DESPREZ, DULONG et EDWARD, *ib.* et suiv. — *Des causes de refroidissement*, 167 à 171. — *De la température fixe dans les animaux*, 171 à 177.

Carreau électrique. Sa construction. — Doit être considéré comme un condensateur, 211.

Catoptrique. Une des parties de l'optique qui s'occupe du phénomène de réflexion de la lumière, et des lois qui y président (Voyez *Lumière réfléchie*), 333 à 344.

Cerfs-volans électriques. Leur emploi pour constater l'identité de l'électricité des nuages avec celle de nos machines. — Manière d'en faire usage. — Précautions à prendre dans ces sortes d'expériences, 239 et 240.

Chaleur animale. Définition de ce mot, 157 et 160. — Source de cette chaleur. — Opinion la plus généralement admise à cet égard pendant long-temps par les physiologistes, 161. — Résultats des expériences exactes, faites par MM. DESPREZ, DULONG et EDWARD, 162 et suiv.

Chambre noire. Ce que c'est, 385.

Choc en retour. Explication de ce phénomène d'électricité atmosphérique, 238.

Combustibles. Sont solides, liquides ou gazeux, 129. — Enumération de ceux les plus généralement employés, 129 et 142. — Déterminations de leurs différens produits en calorique lorsqu'on les brûle, 143. — *Tableau* de la quantité de chaleur développée par la combustion de 1 kilogramme de combustible, 144 et 147. — Des divers appareils de combustion. — Règles générales pour leur construction. — Indication des meilleures méthodes à suivre pour chauffer les liquides et les vaporiser, et pour porter les corps solides à une haute température, 146-147. — Moyens divers mis en usage pour maintenir nos habitations à un degré de chaleur convenable à notre état de santé, 147 à 155. — *Poëles*, 148 et 149. — *Cheminées*, *ib.* et 150. — *Calorifères*, 151 à 155. — Modifications de la plus haute importance hygiénique que présentent ces différens modes de chauffer nos habitations, 155 et 156.

Condensateur. Description et théorie de cet instrument, 206 à 209. — Modification qu'on lui a fait subir dans ces derniers temps. — Applications importantes, du condensateur, dans les recherches relatives aux phénomènes électriques, 210.

Conductibilité. De la conductibilité du calorique considérée dans les solides, 18 à 20. — Dans les liquides, 22 à 24. — Dans les gaz, 24.

Corps. De leur opacité et de leur transparence, 363 et 364. — De leurs couleurs, 364 à 366. — *Des corps bruts.* — Effets que produit sur eux l'électricité, 223 à 231.

D.

Dioptrique. Partie de l'optique dans laquelle on considère les effets produits par la lumière en traversant les corps. VOYEZ *Lumière réfractée*, 344. — Ainsi que les ADDITIONS, 413 et suiv.

E.

Economie animale. Des différens effets produits par l'élec-

tricité sur l'économie animale, 231 à 234. — Modes d'électrisation le plus généralement employés. — Ce que c'est que le *bain électrique*, 231. — Ce qu'on entend par *électrisation par pointes*, — *par étincelles*, — *par la bouteille de Leyde*. *ibid*, 232 et 233. — Considérations générales sur ces différens moyens thérapeutiques, 234.

Ecrans. Leur influence lorsqu'on les interpose entre un corps qui rayonne du calorique et le thermomètre qui doit éprouver les effets, 13.

Electricité. De l'électricité proprement dite, 180 à 246. — Phénomènes principaux qu'elle présente, 180 et 181. — Manières dont on a d'abord cherché à les expliquer. — Ce qu'on entendait par *fluide électrique*, état *positif*, état *négatif*, *réservoir commun*, 181 et 182, Système de Dufay et de Coulomb. — Des deux fluides électriques, 182. — Comment ils servent à expliquer les attractions et les répulsions électriques, 183. — Lois de ces sortes d'attractions et de répulsions, 183 à 185. — Des corps conducteurs et non conducteurs, 186 à 188. — Ce qu'on doit entendre par corps *idio-électriques* et par corps *anélectriques*, 186. — Charge électrique d'un conducteur, 187 à 192. — Etat dans lequel ce corps se trouve après avoir été électrisé, 187. — Manière de le reconnaître, *ibid*. — Théorie de De Laplace relativement à la condition exacte de l'existence de l'électricité à la surface d'un corps, 189 et 190. — Des *pointes*, 190 et 192. — Charge électrique d'un corps non-conducteur, 192 et 193. — Influences électriques à distance, 193. — Leur théorie, 193 à 196. — Théorie des attractions et des répulsions électriques, 197 à 200. — Des électromètres et des électroscopes, 200 à 203. — Répartition de l'électricité entre différens corps, 203. — Lois suivant lesquelles cette répartition a lieu, *ibid*. 206. — Du *Condensateur*, 206 à 210. — Du *carreau électrique*, 211. — *De la bouteille de Leyde*, 211 à 213. — Des *batteries électriques*, 213 et 214. — De *l'électrophore*, 214 et 225. — Moyens de produire l'électricité, 215 à 218. — Par la *pression*. — Expérience de Haüy comme preuve, 216. — Par le *choc*, *le changement de température*, *le frottement*, *ibid*. à 118. — De l'isolement, 219 à 221. — Importance de cet isolement pour la réussite des expériences électriques. — Résumé succinct des résultats auxquels Coulomb est parvenu à cet égard, 219 et 220. — Manière simple de produire l'isolement dans les cas les plus ordinaires, 221. — Machines électriques, 221 à 223. — Des effets de l'électricité sur les corps bruts, 233 à 231. — Sur l'économie animale, 231 à 234. — Des différens modes d'électrisation le plus généralement employés, *ibid*. à 233. — *Bain électrique*, 230 et 231. — *Electrisation* par *pointes*. — Par *étincelles*, *ibid*. 233. — Par la *bouteille de Leyde*, *ibid*. 134. — De l'électricité atmosphérique, 234 à 241. — Manière de reconnaître sa présence, 235 à 236. — De l'électricité des nuages en particulier, 236 à 241. — Des causes de l'électricité des nuages, 236 à 237. — Phénomènes imposans que cette électricité produits, 237. — Définition des mots *éclair*, *foudre*, *éclat*, *roulement* du tonnerre, 238 et 239. — *Eclairs de chaleur*, 240. — Identité de l'électricité des nuages avec celles de nos machines, constatée par Franklin, 236. — Paratonnerres, cerfs-volans électriques, *ibid*.

et 240. — Des paratonnerres en particulier, 241 à 245. — Rapport de l'électricité avec la pluie et la grêle, 245 à 246. — Électricité galvanique, 246 à 287. — Sa découverte par Galvani, 247 et 248. — Idée théorique proposée par ce professeur pour expliquer les phénomènes observés dans ses expériences, *ibid.* — Réfutée par un grand nombre de physiciens, 249. — Recherches et expériences de Volta. — Leurs résultats, 250 et 251. — Phénomènes fondamentaux du galvanisme, 252 à 256. — Expérience tendant à prouver que deux métaux différens soudés ensemble contractent deux électricités opposées, 252. — Propositions importantes qui découlent naturellement de cette expérience, 253 à 254. — De la force électromotrice, 256 à 259. — Des effets caractéristiques de l'électricité galvanique, 259 à 301. — De la *pile voltaïque* en particulier et de différens autres appareils galvaniques connus sous les noms d'*appareil à auge*, de *piles en hélices*, de *pile de Wollaston*, 263 à 273. — Des piles sèches en particulier, 273 à 279. — Observations sur la théorie de la pile, 279 à 283. — Action de la pile sur les corps inorganiques, 283 à 287. — Action chimique de la pile, 287 à 293. — Mouvemens déterminés par l'action de la pile, 293 à 295. — Caractères électriques des atomes, 295 à 297. — Rapports du galvanisme avec les êtres vivans, 297 à 301.

Electrodynamie. Faits les plus généraux et lois qui en résultent, 309 à 316.

Electromètre. En quoi cet instrument diffère de l'électroscope proprement dit, 201. — Description succincte de celui généralement employé pour mesurer la charge des machines, 102.

Electrophore. L'un des instrumens les plus commodes dont on puisse faire usage en électricité, 214. — Sa construction. — Manière de s'en servir. — Peut conserver pendant très-long-temps son électricité, 215.

Electroscope. En quoi cet instrument diffère de celui généralement connu sous le nom *d'électromètre.* — Son usage et sa description, 201. — Electroscope très-sensible de Bohnenberger, 276 et 277.

Etincelle électrique. De sa distance explosive, et de la manière de la mesurer. — De sa marche, du bruit, de la lumière et de la température plus ou moins élevée qu'elle produit, 224 et 225. — Causes de ces différens phénomènes. — Série d'expériences à l'aide desquelles on peut les expliquer, 225 à 230. — Effets produits par les étincelles électriques de l'atmosphère, 238 à 239.

F.

Force électro-motrice. Ce qu'on doit entendre par ces mots, 254. — Manière de rendre cette force ou puissance apparente, *ib.*, 255. — Lois qu'elle suit dans son action, 256 et suiv.

G.

Galvanisme. Ses phénomènes fondamentaux. — Ses rapports avec les êtres vivans, 297 à 301. — Pourquoi et dans quelles circonstances on emploie de préférence l'électricité mise en mouvement par les appareils galvaniques, 297. — Phénomènes intéressans auxquels a donné lieu l'application de l'influence galvanique aux organes

des animaux récemment morts, 298. — Comment on peut exciter des contractions dans un muscle de l'économie animale, *ib.* — Analogie apparente entre la cause qui détermine des influences nerveuses et le fluide galvanique, *ib.*—Comment peuvent être distinguées ces analogies, 299.—Exposition succincte de quelques faits à l'appui, *ib.*, 300.—Voyez *Electricité galvanique.*

Galvanomètre. Usages de cet instrument, et en quoi il consiste, 316 et 317.

Gaz. Leur conductibilité pour le calorique. — Difficulté de la constater, 24. — De leur changement de volume, 26. — Méthode de M. Gay-Lussac pour en donner la preuve, 26 et 27.— Lois que cette méthode expérimentale a fournies 27 et 28. — De leur mélange avec les vapeurs, 80 à 84.

Grêle. Regardée par quelques physiciens comme produite par l'électricité, 245.

H.

Hygromètre. De celui de Saussure en particulier. — En quoi consiste cet hygromètre, 88. — Comment on peut se rendre compte de l'action de cet instrument et de la nature de ses indications, *ib.*, 89. — Est jusqu'à présent celui dont on fait un usage habituel. —De l'hygromètre de Wilson, 89. — Influences du degré d'humidité indiqué par l'hygromètre, sur la manière dont s'exécutent les fonctions des êtres organisés, 90.

Hygrométrie. En quoi consiste cette science. — Ce qu'on doit entendre par corps *hygrométriques* ou *hygroscopiques*, 87. — Des instrumens appelés *hygromètres*, en particulier, Voyez *Hygromètre*, page 88.

L.

Lanterne magique. N'est qu'une modification du microscope solaire, 385.

Lentilles. Voyez *Verres convexes*, 354.

Liquides. Leur peu de conductibilité pour le calorique, 22 à 24.— Leur changement de volume, 28. — Très-difficile à mesurer avec exactitude, 29. — *Table* des dilatations d'un grand nombre de liquides, 29 et 30. —*Table* de l'expansion de l'eau en particulier, 33. — *Table* de la contraction des liquides, par M. Gay-Lussac, 34. — De la solidification des liquides, 46 à 48 — De leur conversion en vapeurs, 49 à 55.

Lumière. De la lumière en général, 320 à 332. — Manières différentes de concevoir et d'expliquer ses phénomènes. — Système de *l'émission*, des *ondulations.* — Du rayonnement, 322 et 323. —De la direction, *ib.*, et 324, de la vitesse, 325 et 326, de l'intensité, *ib.* et 327, et des sources de la lumière, 327 et 328. — Ce que c'est qu'une *ombre*, 328. — Qu'une *pénombre*, 331. —De la lumière réfléchie ou catoptrique, 335 à 344. — Des miroirs plans, 332 et 337.—Des miroirs concaves, 337 à 340. — Des miroirs convexes, 340 et 341.—Des miroirs composés, 341 à 342.— De la réflexion a la surface des corps non polis, 342 à 344. — De la lumière réfractée ou dioptrique, 345 à 357. — Lois de la *réfraction*, 345 et suiv. — De la décomposition de la lumière en particulier, 357 à 366.—De quelques-uns de ses phénomènes accidentels, 386 à 391.—Voyez aussi les Additions, 413 à 438.

Lunettes. Des *lunettes de spectacle* et des *lunettes astronomiques* en particulier, 381 et 382. — Des lunettes *composées*, 382. — A

quoi elles sont redevables de leur pouvoir grossissant, 383.

M.

Machines électriques. Appareils destinés à développer par le frottement, une grande quantité d'électricité et à l'accumuler dans des conducteurs isolés, 221. — Description de la *machine électrique* la plus généralement employée, 221 et 222. — *Machine électrique de Naïrne.* En quoi elle diffère des autres machines électriques, 223.

Magnétisme, 301 à 320. Des aimans naturels, 301 à 302.—Artificiels, 302 à 306. — Du *magnétisme terrestre*, 306 à 308. — Phénomènes électro-dynamiques, 308 à 316. — Magnétiques, 316 à 318.

Microscope. Du microscope simple, 38.—Des microscopes composés. — Idée générale sur la construction de ces sortes d'instrumens, 383 à 384. — Ce que c'est que le *microscope solaire*, 384.

Miroir. Des *miroirs plans* en général, 332 à 337. — Ce qui arrive à un rayon lumineux que l'on fait tomber sur un semblable miroir, 333 et 334. — Circonstances importantes à noter relativement à la réflexion de la lumière sur ces sortes de miroirs. 336. — Des *miroirs concaves.* — Comment se comportent des rayons lumineux en tombant sur une surface polie présentant une forme concave, sphérique ou parabolique, 337 à 339.—Usages de ces sortes de miroirs, et des *miroirs hyperboliques.*—Des *miroirs convexes*, 340 à 341.—Leur principale propriété, 340. — Ne fournissent jamais d'images réelles. — Sont très-peu usités, 341. — Des *miroirs composés*, 341 et 342.

N.

Nuages. Manière dont ils se forment, 91. — Causes principales de leur élévation ou de leur abaissement dans l'atmosphère, 92.

O.

Œil. Sa structure chez l'homme, 367 à 369.—Expérience à l'aide de laquelle on prouve les usages des différentes parties dont est composé cet organe, 370.—Des dimensions de ces parties, 433, et de leur pouvoir réfringent, 434.

Ombre. Définition de ce mot—Ne peut être absolue. — Pourquoi, 329 et 330. — Son intensité toujours proportionnelle à celle de la lumière, 330. — Ne peut être d'une intensité uniforme lorsqu'elle est produite par un corps lumineux d'un certain volume, *ib.* — Circonstances remarquables que présente encore l'ombre d'un corps, 331. — Comment les partisans du système de l'émission expliquent ces différens effets, 331 et 332.

P.

Paratonnerre. Modifications importantes apportées dans la construction de cet appareil, depuis la première expérience faite par Dalibard. — Description du paratonnerre le plus généralement employé, 242. — Inconvénient que présentent les paratonnerres à boule, que l'on a proposés de substituer à ceux à pointe, 243. — Manière dont on peut démontrer par expérience les avantages de ces sortes d'ap-

pareils et surtout la nécessité d'une parfaite continuité dans le conducteur. —Leur utilité pour toutes les habitations, 243.—Véritable théorie de l'action du paratonnerre, 244.

Physique médicale. Dissertation sur les généralités de la physique médicale et sur l'ordre à suivre dans son enseignement, 439 à 463, 1re PARTIE. — *Définition de la science*, 441 à 446. — *Des forces ou puissances naturelles*, 446 à 448. — *Etude des phénomènes*, 448 à 451, 2e PARTIE, 451 à 463. — *Optique*, 452. — *Électricité*, 452 et 453. — *Galvanisme*, 453. — *Electromotion*, *ib.*, 454.— *Physiologie*, *ib.*, 455. —*Physique médicale*, 455 à 457. — *Applications philosophiques*, 457 et 458.— *Application d'appareils*, 459 à 461. — *De phénomènes*, 461 à 462. — OBSERVATIONS, 462.

Pile. De la pile *voltaïque* ou *galvanique* en particulier. — Dans quel but cet appareil fut imaginé par Volta. — Manière dont il fut primitivement construit. — Effets résultans d'une semblable disposition, 263. — Modifications avantageuses qu'on lui a fait subir dans la *pile à auge*, 264. — Comment se comporte l'électricité dans un semblable appareil, *ib.* à 268.— Principes généraux sur l'action des piles. — Observations sur la théorie de la pile, 279. — En quoi cette théorie paraît être insuffisante et comment elle pourrait être modifiée, 279 à 283.— Formes diverses que l'on peut donner aux appareils galvaniques. — Pile ou *appareil de Wollaston*, 270 et 271. — *Pile en hélices.* — Sa description, *ib.*, 271. — Précautions à prendre pour se servir convenablement de ces sortes d'appareils, 272 à 273. — *Des piles sèches*, en particulier, 273.— En quoi elles consistent, *ib.* — Leur mode d'action, 274 et 275.—Peuvent être disposées de manière à produire un mouvement d'oscillation presque perpétuel, ou un mouvement de rotation continu, 275 à 276. — Electroscope très-sensible, obtenu au moyen des piles sèches, *ib.* — Application de la pile sèche, faite par M. ROUSSEAU dans son *diagomètre*, 277 et 278. — Action de la pile sur les corps inorganiques, 283. — Série d'expériences tendant à la prouver, 283 à 285. — Résultats des recherches à cet égard faites par MM. CHILDREN et ROBERT HARE, 86. — Action chimique de la pile. — Indication de ses principales actions et moyens de les obtenir, 287 à 290. — Manière dont on a cru pouvoir expliquer ces différens phénomènes, 290. —*Mouvemens déterminés par l'action de la pile*, 293 à 296. — Difficulté de leur explication.—Exposition succincte des singuliers phénomènes qu'ils présentent, 294 et 295.

Pistolet de Volta. En quoi consiste cet instrument, 230.

Poids spécifique. Du poids spécifique des vapeurs. — Comment il a été exactement apprécié par M. GAY-LUSSAC, 73 et 74.

Poissons électriques. Faculté qu'ils ont de produire des commotions très-analogues aux secousses galvaniques, 318 et 319.

Polarisation. De la polarisation *fixe* de la lumière, 388 et 389. *Mobile*, 389. — *Tournante*, 390.

Pouvoir réfringent. Ce que c'est, 421. — *Tableau* des pouvoirs réfringens de quelques solides et de quelques liquides, 424 et 425. — Du pouvoir réfringent des parties de l'œil, 434.

Prisme. Effets différens produits par cet instrument, 353.

Puissance réfractive. Ce qu'on entend par ces mots, 421. — *Tableau* des puissances réfractives des gaz, 424.

Pyromètre. Du pyromètre de *Wegwood* et du pyromètre de

Platine, en particulier. — Description de ces deux instrumens, 101 à 103.
Rayonnement. Ce qu'on doit entendre par ce mot lorsqu'il s'applique au calorique, 4. — Faits vulgaires et expériences directes qui prouvent le rayonnement de ce fluide, 6 et 7. — Explication de ce phénomène, 7. — Lois de ce rayonnement, 9. — *Table* indiquant les rapports des pouvoirs rayonnans de plusieurs substances, 10. — Modifications que le rayonnement peut éprouver, suivant l'état de la substance employée ou les divers enduits qu'on y applique. — Conclusions que l'on peut en tirer, 10. — Est modifié par la nature des fluides élastiques qui remplissent l'espace, et par la raréfaction de l'air, 12. — Incertitude des résultats obtenus par les expériences de Leslie. — Influence des écrans, 13. — Lois de l'absorption du calorique rayonnant, 15 et 16. — Idées que l'on doit se faire du *rayonnement* de la lumière dans le système de l'émission, 322 et 323 (Voyez *aussi les* Additions, 434.

R.

Réflexion de la lumière. Considérée à la surface des corps non polis, 342 à 344.
Réfraction. Ses lois, 345. — Ses phénomènes, toujours accompagnés de phénomènes de réflexions simultanées, 348. — Effets très-remarquables auxquels donne lieu la réfraction de la lumière en passant d'un milieu dans un autre, 350 à 352. — Ce que signifient les mots *double réfraction* et *axe de double réfraction*, 386 et 387. — De la réfraction simple. — Circonstances particulières qu'elle produit, 414. — Procédés employés pour déterminer les indices de réfraction, 415 et suiv.
Répulsion. Ce qu'on doit entendre par répulsion du calorique. — S'exerce précisément suivant la même loi que l'attraction dans les autres corps, 4.
Répulsions électriques. Leurs lois. — Leur théorie. (Voyez *Attractions électriques*.)
Rosée. Explication de ce phénomène météorologique, d'après la théorie du calorique rayonnant, 92 et 93.

S.

Solides. De leur conductibilité pour le calorique, 18 à 22. — De leur changement de volume, 35 à 40. — De leur fusion ou de leur liquéfaction, 41 à 48. — *Table* des degrés de température auxquels beaucoup de solides se fondent, 44 et 45.
Spectre solaire. Ce que c'est, 358.

T.

Télescope. — De quoi est composé le *télescope grégorien*, 384. — Télescope *newtonien*. — Est construit sur les mêmes principes que le précédent, 384.
Température. — Définition de ce mot, 94. — Des différens moyens employés pour mesurer et comparer les diverses températures des corps, 95 à 104. — Ce que c'est que l'*équilibre de température*. — Causes variées qui peuvent la déterminer entre différens corps, 117. — Comment le rayonnement concourt à sa production, *ibid.* 118. — De la *température propre*, 159. — De la *température fixe dans les animaux*, 171.
Thermomètre. — En quoi consiste cet instrument, 95. — Précautions à prendre pour le construire et le graduer convenable-

ment, 96 à 99. — Des thermomètres de *Réaumur*, de *Fahrenheit*, de *Delisle*, en particulier, et de leurs rapports avec le thermomètre *centigrade*, — Du thermomètre *différentiel*, 99. — Causes de l'extrême sensibilité de cet instrument. — Du thermomètre *différentiel* de Leslie, 100. — Sa description, *ibid.* et 101.

Thermoscope. — Celui de Rumfort construit sur les mêmes principes que le thermomètre différentiel, 100 et 101.

V.

Vapeurs. — Manière dont les liquides se convertissent en vapeurs, 49 à 55. — De la conversion des vapeurs en liquides, 55 à 57. — Influence exercée par les affinités chimiques sur leur condensation, 56. — Des vapeurs en particulier, 57 à 84. — Considérées dans le vide, 57. — Ce qu'on doit entendre par *tension des vapeurs*, 59. — Manières différentes de la déterminer à divers températures et pour différens liquides, 59 à 62. — Série de *tables* relatives aux forces élastiques des différentes vapeurs à diverses températures, 65 à 71. — Du poids spécifique des vapeurs, 73. — Manière dont il a été exactement apprécié par M. Gay-Lussac, 73 et 74. — Effet exercé par les hautes pressions sur les vapeurs. — Expérience de M. Cagnard de Latour, 75 et 76. — Application de la force de la vapeur aux effets mécaniques, 76 à 80. Additions à cet article, 394 à 412. — Du mélange des vapeurs avec les gaz, 80 à 84. — Applications météorologiques, 86 à 94. — *Hygrométrie*, 86 à 90. — Des *brouillards*, 90 à 91. — Des *nuages*, 91 à 92. — De la *rosée*, 92 à 93. — *Pluie*, *neige* et *grêle*, 93.

Verres concaves. — Peuvent être considérés comme des prismes circulaires opposés par leur sommet. — Manière d'obtenir leur foyer *virtuel*, 357.

— *Convexes.* — Effets produits, par ces sortes de verres, généralement désignés sous le nom de *lentilles*, 354 et 355. — Ce qu'on doit entendre par *foyer* et par foyer *principal* d'un verre convexe, 335 et 356.

Vision. — Conditions principales de cette fonction, 370. — Ce que c'est que l'*angle visuel*, 375. — De quelques imperfections de la vision, et en particulier de la *myopie*, de la *presbytie*, de la *cataracte*, etc., 377 à 379. — Voyez aussi les Additions, 433 à 438.

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES.

RES.

· Lussac, 73 et
ercé par les hau.
ur les

des plus grands avantages qu'elles s'est promis des assemblées provinciales : quoiqu'elles ne puissent pas, comme les Etats provinciaux, députer aux Etats-Généraux, elles offrent cependant à Sa Majesté un moyen facile de communiquer avec ses peuples, et de connaître leur vœu sur ce qui les intéresse.

Le Roi espère ainsi procurer à la nation la tenue d'Etats la plus régulière et la plus convenable; prévenir les contestations qui pourraient en prolonger inutilement la durée, établir, dans la composition de chacun des trois ordres, la proportion et l'harmonie qu'il est si nécessaire d'y entretenir; assurer à cette assemblée la confiance des peuples, d'après le vœu desquels elle aura été formée; enfin, la rendre ce qu'elle doit être, l'assemblée d'une grande famille, ayant pour chef le père commun. A quoi voulant pourvoir; ouï le rapport, le Roi étant en son conseil, a ordonné, et ordonne ce qui suit :

Art. 1er. Tous les officiers municipaux des villes et communautés du royaume, dans lesquelles il peut s'être fait quelques élections aux Etats-Généraux, seront tenus de rechercher incessamment dans les greffes desdites villes et communautés, tous les procès-verbaux et pièces concernant la convocation des Etats, et les élections faites en conséquence, et d'envoyer sans délai lesdits procès-verbaux et pièces, savoir : aux syndics des Etats provinciaux et assemblées provinciales, dans les provinces où il n'y a pas d'assemblée subordonnée auxdits Etats provinciaux ou aux assemblées provinciales; et dans celles où il y a des assemblées subordonnées, aux syndics desdites assemblées subordonnées, ou à leurs commissions intermédiaires.

2. Seront tenus, les officiers des juridictions, de faire la même recherche dans les greffes de leur juridiction, et d'en envoyer le résultat à M. le garde-des-sceaux, que Sa Majesté a chargé de communiquer ledit résultat auxdits syndics et commissions intermédiaires.

3. Sa Majesté invite, dans chacune des provinces de son royaume, tous ceux qui auront connaissance desdits procès-verbaux, pièces ou renseignemens relatifs à ladite convocation, à les envoyer pareillement auxdits syndics.

4. L'intention de Sa Majesté est que, de leur côté, lesdits syndics et commissions intermédiaires fassent, à ce sujet, les recherches nécessaires; et seront, lesdites recherches, mises sous les yeux desdits Etats et assemblées, pour être, par elles, formé un vœu commun, et être adressé un mémoire sur les objets contenus auxdites recherches, lequel sera envoyé par lesdits syndics, à M. le garde-des-sceaux.

5. Dans les provinces où il y a des assemblées subordonnées, le vœu desdite blées sera remis, avec toutes les piè seront jointes, à l'assemblée supéri remettra pareillement son vœu, et l comme il est dit, à M. le garde-des avec le vœu, les mémoires et les p lui auront été remises par les assem bordonnées.

6. Au cas où toutes lesdites rech seraient pas parvenues auxdits synd la tenue prochaine des Etats et ass Sa Majesté, voulant que les résulta demande lui parviennent au plus les deux premiers mois de l'année p entend, qu'à raison du défaut desdi et renseignemens, lesdites assemb subordonnées que supérieures, ne se dispenser de former un vœu, et c un mémoire sur les objets relatifs a arrêt, sauf aux syndics et commissi médiaires à envoyer, après la séparat dites assemblées, les pièces nouvel téressantes qui pourraient leur par

7. Si dans quelques-unes desdit blées il y avait diversité d'avis, l de Sa Majesté est que les avis différ énoncés avec les raisons sur lesqu eun pourrait être appuyé; autoris Sa Majesté, tout député desdites a à joindre au mémoire général de l' tous mémoires particuliers en faveu qu'il aura adopté.

8. Sa Majesté invite, en mên tous les savans et personnes instruit royaume, et particulièrement ceux posent l'Académie des inscriptions lettres de sa bonne ville de Paris, à M. le garde-des-sceaux tous les 1 mens et mémoires sur les objets co présent arrêt.

9. Aussitôt que lesdits mémoire gnemens et éclaircissemens seront à M. le garde-des-sceaux, Sa Ma fera rendre compte, et se mettra à déterminer, d'une manière précis doit être observé pour la prochai cation des Etats-Généraux, et po leur assemblée aussi nationale et a lière qu'elle doit l'être.

Fait au Conseil-d'Etat du Roi, S y étant, tenu à Versailles, le 5 ju

Signé le baron DE BR

---

8 AOUT 1788. — Arrêt du Conseil-d'E qui fixe au 1er mai prochain la tenu Généraux, et suspend jusqu'à cette rétablissement de la cour plénière. (

---

23 SEPTEMBRE 1788. — Déclaration ordonne que l'assemblée des Etats aura lieu dans le courant de ja (L. 1, 9.)

CLINIQUE MÉDICALE,

OU

CHOIX D'OBSERVATIONS

RECUEILLIES A L'HOPITAL DE LA CHARITÉ

(CLINIQUE DE M. LERMINIER).

PAR G. ANDRAL,

Professeur à la Faculté de Médecine de Paris, Membre de l'Académie royale de Médecine, du Conseil de salubrité, du Bureau central des hôpitaux, etc.

Deuxième édition, revue, corrigée et augmentée.

Tomé 5e. (MALADIES DE L'ENCÉPHALE.)

Prix : 8 fr. 50 c.

NOUVEAU

DICTIONNAIRE

DE

MÉDECINE, CHIRURGIE, PHARMACIE,

PHYSIQUE, CHIMIE, HISTOIRE NATURELLE, ETC.;

Où l'on trouve l'étymologie de tous les termes usités dans ces sciences, et l'histoire concise de chacune des matières qui y ont rapport;

PAR

A. BÉCLARD, Professeur à la Faculté, et membre de l'Académie royale de Médecine de Paris;

CHOMEL, Médecin attaché au service de l'hôpital de la Charité;

H. CLOQUET, Membre de l'Académie royale de Médecine;

J. CLOQUET, Chirurgien en second de l'hôpital Saint-Louis, et Membre de l'Académie royale de Médecine de Paris;

M. ORFILA, Professeur à la Faculté, et Membre de l'Académie royale de Médecine de Paris.

Publication nouvelle,

Augmentée d'un Supplément publié par les mêmes auteurs. Paris, 1834.

Deux volumes in-8°. Prix : 20 francs.